



IV საერთაშორისო სამეცნიერო – პრაქტიკული კონფერენცია

**თანამედროვე გამოწვევები და მიღწევები
ინფორმაციულ და საკომუნიკაციო ტექნოლოგიებში
2025**

**Modern Challenges and Achievements in Information and
Communication Technologies**

IV International Scientific – Practical Conference

შრომები - TRANSACTIONS



კონფერენცია ჩატარდა:

ბათუმის შოთა რუსთაველის სახელმწიფო უნივერსიტეტის,
საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის,
დრეზდენის გამოყენებით მეცნიერებათა (HTW) უნივერსიტეტის (გერმანია)
და ბიელსკო-ბიალას უნივერსიტეტის (პოლონეთი) ორგანიზებით

Conference Organizers:

Batumi Shota Rustaveli State University
Georgian Technical University
Dresden University of Applied Sciences (HTW) (Germany)
University of Bielsko-Biala (Poland)

ოქტომბერი 6 – 7 October

კონფერენციის საერთაშორისო სამეცნიერო კომიტეტი:

თავმჯდომარე:

აკადემიკოსი დავით გურგენიძე - საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის რექტორი

პროფესორი ტიტე აროშიძე - ბათუმის შოთა რუსთაველის სახელმწიფო უნივერსიტეტის რექტორი

თანათავმჯდომარეები:

პროფესორი თამარ ლომინაძე (საქართველო, სტუ)

პროფესორი იბრაიმ დიდმანიძე (საქართველო, ბსუ)

პროფესორი მარიო ნოიგებაუერი (გერმანია, HTW)

პროფესორი ვასილ მარცენუკი (პოლონეთი, UBB)

თავმჯდომარის მოადგილეები:

პროფესორი თალიკო ჟვანია (საქართველო, სტუ)

პროფესორი თამარ სირაძე (საქართველო, ბსუ)

პროფესორი ლელა თურმანიძე (საქართველო, ბსუ)

ასოცირებული პროფესორი მიხეილ დონაძე (საქართველო, ბსუ)

აკადემიური დოქტორი ზურაბ ზაქარაძე (საქართველო, N6 საშუალო სკოლა)

კონფერენციის პროგრამული კომიტეტი

საქართველო:

პროფესორი თამარ წერეთელი, პროფესორი ზურაბ გუდავაძე, პროფესორი კარლო კოპალიანი, ზაზა ბუაჩიძე, პროფესორი ლილი პეტრიაშვილი, პროფესორი ნონა ოთხოზორია, პროფესორი თინათინ კაიშაური, პროფესორი გია სურგულაძე,

პროფესორი რამაზ შეროზია, პროფესორი რევაზ დიასამიძე, ასოცირებული პროფესორი ია მოწყობილი, პროფესორი მზია კიკნაძე, პროფესორი ნელი ახვლედიანი, პროფესორი ნუგზარ ღომიძე, პროფესორი ნინო სამნიძე, პროფესორი დალი მახარაძე,

ასოცირებული პროფესორი თეონა ბერიძე

ასოცირებული პროფესორი მზევინარ ბაკურიძე

გერმანია:

პროფესორი ტომ შაალი (გამოყენებით მეცნიერებათა უნივერსიტეტი, ცვიკაუ)

პროფესორი მიხეილ მიულერი (გამოყენებით მეცნიერებათა უნივერსიტეტი, ვილდაუ)

პროფესორი რობერტ მანცკე (გამოყენებით მეცნიერებათა უნივერსიტეტი, კილი)

იტალია:

ასოცირებული პროფესორი ანტონინო გალატი (ტექნიკური უნივერსიტეტი, პალერმო);

ასოცირებული პროფესორი ნიკოლა ჯაკუინტო (პოლიტექნიკური უნივერსიტეტი, ბარი);

ლატვია:

პროფესორი ილმარს კრეიტუსი (ფიზიკურ ქიმიის მეცნიერებათა დეპარტამენტი)

რისებას უნივერსიტეტი

ლიეტუვა:

პროფესორი სვაიონე ბეკეშიენე (კომპიუტერული მეცნიერებების დეპარტამენტი),

ლიტვის სამხედრო აკადემია

უნგრეთი:

პროფესორი იანოშ შტრიკი (დებრეცენის უნივერსიტეტი)

პოლონეთი:

პროფესორი კმიშტოფ როკოსი (ტექნოლოგიების უნივერსიტეტი, ვარშავა)
პროფესორი ვასილ მარცენიუკი (ბიელსკო-ბიელას უნივერსიტეტი)
პროფესორი ვიტალი ბონდარიუვი (ლუბლინის ტექნოლოგიური უნივერსიტეტი)

ჩეხეთი:

პროფესორი შარკა ჰოშკოვა-მაიეროვა (ფიზიკა – მათემატიკის დეპარტამენტი) თავდაცვის
უნივერსიტეტი
პროფესორი ზუზანა ჰუბნეროვა, ბრნოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

უკრაინა:

პროფესორი ვლადიმერ ზასლავსკი შვეჩენკოს სახელობის კიევის ეროვნული უნივერსიტეტი;
ხანინი ი.გ., ეკონომიკის მეცნიერებათა დოქტორი, პროფესორი,
წყლის მენეჯმენტისა და ბუნებრივი რესურსების გამოყენების ეროვნული უნივერსიტეტი,
როვნო; პროფესორი ნიკოლაი გლიბოვეცი, ეროვნული უნივერსიტეტი „კიევო-მოგილიანის
აკადემია“

სომხეთი:

პროფესორი დოქტორი არამ კარაპეტიანი, სახელმწიფო უნივერსიტეტი;
პროფესორი დიანა გალოიანი, ეკონომიკის მეცნიერებათა დოქტორი, სლავური უნივერსიტეტი,
ერევანი

აზერბაიჯანი:

პროფესორი სოლტან ალიევი (მათემატიკისა და მექანიკის ინსტიტუტი, ბაქო)

კონფერენციის საორგანიზაციო კომიტეტი:

თავმჯდომარე: პროფესორი ლილი პეტრიაშვილი, დოქტორი დიდარ დიდმანიძე

წევრები: პროფესორები: დავით კაპანაძე, ზაზა ცირამუა, ზურაბ გასიტაშვილი, ნინო თოფურია,
თამარ ასათიანი, ნუგზარ ამილახვარი, ლალი კალანდაძე, ონისე სურმანიძე,

ასოცირებული პროფესორები: ლადო ადამია, მიხეილ ჩიხრაძე, რუსუდან პაპიაშვილი, ია
ირემაძე, მაია ძაძამია, ზაურ გამიშიძე, იზოლდა ჯაბნიძე, ომარ გივრაძე, რუსლან ცინარიძე,
ნატო შეროზია, დიანა ახვლედიანი, მედეა დიასამიძე, თათია ნაკაშიძე - მახარაძე, დარეჯან
გელაძე, ინგა სურმანიძე. **ასისტენტ-პროფესორები:** ბესიკ ბერიძე, თამარ ასანიძე, ირმა
ბაგრატიონი, ალექო ბაკურიძე, ნინო ცინარიძე, კობა ივანაძე, ნათია აბაშიძე, ლეილა
დიასამიძე, ზეინაბ ახვლედიანი, თეონა თედორაძე,

აკადემიური დოქტორები: ზებურ ბერიძე, გიორგი იმნაიშვილი, ამირან ქიმაძე,
რიმა თხილაიშვილი, ნინო ხუჯაძე, მარინა დიდმანიძე

ასისტენტები: მაყვალა ზაქარაძე, მერაბ მეგრელიშვილი, ამირან შარაძე, მანანა კუჭავა,
ია ხასაია, მარი პაპუნძიძე, ზურაბ დუმბაძე

© საგამომცემლო სახლი „ტექნიკური უნივერსიტეტი“, 2025

ISBN 978-9941-520-86-0

<http://www.gtu.ge>

ყველა უფლება დაცულია. ამ წიგნის არც ერთი ნაწილის (იქნება ეს ტექსტი, ფოტო, ილუსტრაცია თუ სხვა) გამოყენება არანაირი ფორმით და საშუალებით (იქნება ეს ელექტრონული თუ მექანიკური) არ შეიძლება გამომცემლის წერილობითი ნებართვის გარეშე. საავტორო უფლებების დარღვევა ისჯება კანონით. წიგნში მოყვანილი ფაქტების სიზუსტეზე პასუხისმგებელია ავტორი/ავტორები. ავტორის/ავტორთა პოზიციას შეიძლება არ ემთხვეოდეს საგამომცემლო სახლის პოზიციას.

International Scientific Committee of the Conference:

Chairman:

Academician David Gurgenidze - Rector of the Georgian Technical University

Professor Tite Aroshidze - Rector of Batumi Shota Rustaveli State University

Co-Chairmen:

Professor Tamar Lominadze (Georgia, GTU)

Professor Ibraim Didmanidze (Georgia, BSU)

Professor Mario Neugebauer (Germany, HTW)

Professor Wasil Marcenuk (Poland, UBB)

Deputy Chairmen:

Professor Taliko Zhvania (Georgia, GTU)

Professor Tamar Siradze (Georgia, BSU)

Professor Lela Turmanidze (Georgia, BSU)

Associate Professor Mikheil Donadze (Georgia, BSU)

Academic Doctor Zurab Zakharadze (Georgia, Secondary School No. 6)

Conference Program Committee

Georgia:

Professor Tamar Tsereteli, Professor Zurab Gudavadze, Professor Karlo Kopaliani, Zaza Buachidze, Professor Lili Petriashvili, Professor Nona Otkhozoria, Professor Tinatin Kaishauri, Professor Gia Surguladze, Professor Ramaz Sherozia, Professor Revaz Diasamidze, Associate Professor Ia Motsakhili, Professor Mzia Kiknadze, Professor Neli Akhvlediani, Professor Nugzar Ghomidze, Professor Nino Samnidze, Professor Dali Makharadze, Associate Professor Teona Beridze
Associate Professor Mzevinar Bakuridze

Germany:

Professor Tom Schaal (University of Applied Sciences, Zwickau)
Professor Michael Müller (University of Applied Sciences, Wildau)
Professor Robert Manzke (University of Applied Sciences, Kiel)

Italy:

Associate Professor Antonino Galati (Technical University, Palermo);
Associate Professor Nicola Giaquinto (Polytechnic University, Bari);

Latvia:

Professor Ilmars Kreitus (Department of Physical Chemical Sciences)
University of Riga

Lithuania:

Professor Svaionė Bėkešienė (Department of Computer Science),
Lithuanian Military Academy

Hungary:

Professor János Štriké (University of Debrecen)

Poland:

Professor Krzysztof Rokos (University of Technology, Warsaw)

Professor Wasil Marceniuk (Bielsko-Biała University)

Professor Vitaly Bondarév (Lublin University of Technology)

Czech Republic:

Professor Šarka Hošková-Majerová (Department of Physics and Mathematics), Defence

University

Professor Zuzana Hubnerová, Brno Technical University

Ukraine:

Professor Vladimir Zaslavskiy, Shevchenko National University of Kyiv; Khanin I.G., Doctor of Economic Sciences, Professor, National University of Water Management and Natural Resources Use, Rovno;

Professor Nikolay Glibovets, National University "Kiev-Mogilev Academy"

Armenia:

Professor Dr. Aram Karapetyan, State University;

Professor Diana Galoyan, Doctor of Economic Sciences, Slavic University, Yerevan

Azerbaijan:

Professor Aliyev Soltan (Institute of Mathematics and Mechanics, Baku)

Conference Organizing Committee:

Chairman: Professor Lili Petriashvili, Doctor Didar Didmanidze

Members: Professors: Davit Kapanadze, Zaza Tsiramua, Zurab Gasitashvili, Nino Topuria, Tamar Asatiani, Nugzar Amilakhvari, Lali Kalandadze, Onise Surmanidze,

Associate Professors: Lado Adamia, Mikheil Chikhradze, Rusudan Papiashvili, Ia Iremadze, Maia Dzadzamia, Zaur Gamishidze, Izolda Jabnidze, Omar Givradze, Ruslan Tsinaridze, Nato Sherozia, Diana Akhvlediani, Medea Diasamidze, Tatia Nakashidze - Makharadze, Darejan Geladze, Inga Surmanidze.

Assistant Professors: Besik Beridze, Tamar Asanidze, Irma Bagrationi, Aleko Bakuridze, Nino Tsinaridze, Koba Ivanadze, Natia Abashidze, Leila Diasamidze, Zeinab Akhvlediani, Teona Tedoradze, Academic

Doctors: Zebur Beridze, Giorgi Imnaishvili, Amiran Kimadze,

Rima Tkilaishvili, Nino Khujadze, Marina Didmanidze

Assistants: Makvala Zakharadze, Merab Megrelishvili, Amiran Sharadze, Manana Kuchava, Ia Khasaia, Mari Papunidze, Zurab Dumbadze

© Publishing House - Technical University, 2024

ISBN 978-9941-520-86-0

<http://www.gtu.ge>

All rights reserved. No part of this publication may be reproduced (will this be a text, photo, illustration or otherwise) in any form or by any means (electronic or mechanical) without the prior written permission of publisher. Piracy is punished according to the law. Author(s) are responsible for the accuracy of all the facts provided in the book. The position of author(s) might not be coinciding with the position of the Publishing House.

სარჩევი/Table of contents

1.	თამარ ლომინაძე, თალიკო ჯვანია, ლილი პეტრიაშვილი ბიზნეს - პროცესების მართვა გაურკვევლობის პირობებში Tamar Lominadze, Taliko Zhvania, Lily Petriashvili Models for Business Process Management under Uncertainty	15
2.	გია სურგულაძე, ნინო თოფურია, მარინა ქაშიბაძე საინფორმაციო საზოგადოება - ინფორმაციული სისტემის დრუბლოვანი პორტალის შექმნა CASE და AI ტექნოლოგიებით Gia Surguladze, Nino Topuria, Marina Kashibadze Information Society - Creation of a Cloud Portal for Information System using CASE and AI Technologies	22
3.	ლელა გაჩეჩილაძე, ლაშა იაშვილი, ლიანა ნონიკაშვილი სამეცნიერო-ტექნიკური ამოცანების გადაწყვეტა Python დაპროგრამების ენაზე Lela Gachechiladze, Lasha Iashvili, Liana Nonikashvili Solving scientific - technical problems in the Python programming language	29
4.	ზურაბ მესხიძე კლიმატის ცვლილების წინააღმდეგ ბრძოლა ბლოკჩეინის გამოყენებით Zurab Meskhidze Fighting climate change using blockchain	36
5.	ბესიკ ბერიძე, მიხეილ დონაძე სტეგანოგრაფია და მისი გამოყენების პერსპექტივები ინფორმაციის დაცვაში Besik Beridze, Mikheil Donadze Steganography and its application prospects in information protection	41
6.	ავთანდილ ბიჩნიგაური, იოსებ ქართველიშვილი, ზებურ ბერიძე აკადემიური საზოგადოების როლი კიბერუსაფრთხოების ცნობიერების ამაღლებაში Avtandili Bichnigauri, Ioseb Kartvelishvili, Zebur Beridze The Role of the Academic Community in Raising Cybersecurity Awareness	49
7.	სოფიო ბარნოვი, ირმა კუცია, გვანცა ხუბულია ხელოვნური ინტელექტის როლი აუტიზმის ადრეული დიაგნოსტიკისა და სკრინინგისთვის მცირეწლოვან ბავშვებში Sophio Barnovi, Irma Kutsia, Gvantsa Khubulia The role of artificial intelligence in early diagnosis and screening of autism in young children	54
8.	იბრაიმ დიდმანიძე, გრიგოლ კახიანი ხელოვნური ნეირონული ქსელის ჰიბრიდული მოდელი ორთოგონალური რეგულარიზაციით Ibraim Didmanidze, Gregory Kakhiani A Hybrid Model of Artificial Neural Networks with Orthogonal Regularization	57
9.	გიორგი იმნაიშვილი, ნუკრი სირაბიძე, ზურაბ დუმბაძე მონაცემთა განაწილებული ბაზების აგება და სისტემების თეორიის და სისტემური მოდელირების გამოყენება განათლებაში Giorgi Imnaishvili, Nukri Sirabidze, Zurab Dumbadze Construction of Distributed Databases and Application of Systems Theory and System Modeling in Education	61
10.	რუსუდან პაპიაშვილი, თამარ ასათიანი, ირინე ხომერიკი თანამედროვე გამოწვევები საინფორმაციო ტექნოლოგიების პროექტების მართვაში Rusudan Papiashvili, Tamar Asatiani, Irine Khomeriki Modern Challenges in Information Technology Project Management	65
11.	ოთარ შონია, ლუკა შონია, ლევან ყოლბაია ინფორმაციული უსაფრთხოება და კიბერუსაფრთხოების განვითარება Otar Shonia, Luka Shonia, Levan Kolbaia Development of Information Security and Cybersecurity	72
12.	ნინო თოფურია, დემურ სიჭინავა, იბრაიმ დიდმანიძე თანამედროვე მიდგომები IoT ეკოსისტემაში უსაფრთხოების გაძლიერებისთვის Nino Topuria, Demur Sichinava, Ibraim Didmanidze Contemporary Approaches to Enhancing Security in the IoT Ecosystem	77

13.	ია მოწყობილი, ირმა ტაკიძე, ინგა სურმანიძე სამშენებლო კომპანიაში ბინების ფასების დინამიკის განსაზღვრა პროგრამა STATISTICA-ის გამოყენებით Ia Motskobili, Irma Takidze, Inga Surmanidze Determining the dynamics of apartment prices in a construction company using the STATISTICA software 83	83
14.	ავთანდილ ბიჩნიგაური, ლუკა შონია, ილია შონია F5 WAF-ის გვერდის ავლა პოსტ-ექსპლუატაციის დროს მონაცემების ექსფილტრაციისთვის Avtandili Bichnigauri, Luka Shonia, Ilia Shonia Bypassing F5 WAF for Data Exfiltration during Post-Exploitation 93	93
15.	ზებურ სურმანიძე, ბესიკ ბერიძე ჯანდაცვის სფეროს მონაცემთა მართვა - ტექნიკური, ეთიკური და იურიდიული ასპექტები NoSQL ბაზების მაგალითზე Zebur Surmanidze, Besik Beridze Healthcare Data Management - Technical, Ethical, and Legal Aspects Using NoSQL Databases as an Example 94	94
16.	მედეა თევდორაძე, თამარ ასათიანი, ია გიაშვილი ბიზნეს-ანალიტიკის სისტემების ანალიზი და მათი გამოყენების აპსექტები Medea Tevdoradze, Tamar Asatiani, Ia Giashvili Analysis of Business Analytics Systems and Aspects of Their Application 99	99
17.	Tigran Karapetyan, Aram Karapetyan The Role of Smart Solutions in Modeling the Security Problems of Water Resources in RA ტიგრან კარაპეტიანი, არამ კარაპეტიანი ჭკვიანი გადაწყვეტილებების როლი წყლის რესურსების უსაფრთხოების პრობლემების RA მოდელირებაში 105	105
18.	Sergii Khrypko Comparison of Digital Signature Algorithms based on Elliptic curves for Blockchain Technologies სერგეი ხრიპკო ბლოკჩეინ ტექნოლოგიებისთვის ელიფსურ მრუდებზე დაფუძნებული ციფრული ხელმოწერის ალგორითმების შედარება 108	108
19.	Soltan Aliyev, Irada Ibadova Limit theorems for age-dependent branching process with emigration სოლტან ალიევი, ირადა იბადოვა ასაკზე დამოკიდებული განშტოების პროცესის ლიმიტირებული თეორემები ემიგრაციით 113	113
20.	Sergii Vakarchuk, Mykhailo Vakarchuk On Informational and Some Other n-Widths of Classes of Analytic Functions in a Disk სერგი ვაკარჩუკი, მიხაილო ვაკარჩუკი დისკზე ანალიტიკური ფუნქციების კლასების ინფორმაციული და სხვა n-სიგანეების შესახებ 117	117
21.	Sergii Khrypko, Olga Khrypko Visualization and Anomaly Detection in Quantitative Data: A 3D Approach Using Metric Encoding სერგი ხრიპკო, ოლგა ხრიპკო ვიზუალიზაცია და ანომალიების აღმოჩენა რაოდენობრივ მონაცემებში: 3D მიდგომა მეტრიკული კოდირების გამოყენებით 122	122
22.	Volodymyr Zaslavskyi, Dmytro Satanovskiy, Givi Tsitskishvili Heuristic Algorithms for Matching Geospatial Databases: Lexical and Semantic Analysis with Tree-Based Representations ვოლოდიმირ ზასლავსკი, დმიტრო სატანოვსკი, გივი ციცქიშვილი გეოსივრცული მონაცემთა ბაზების შესატყვისის ევრისტიკული ალგორითმები: ლექსიკური და სემანტიკური ანალიზი ხეზე დაფუძნებული წარმოდგენებით 128	128
23.	Volodymyr Zaslavskyi, Ihor Volokhovych, Ibraim Didmanidze Predicting Impurities in Mānuka Honey Using Machine Learning ვოლოდიმირ ზასლავსკი, იჰორ ვოლოხოვიჩი, იბრაიმ დიდმანიძე მანუკას თაფლში მინარევების პროგნოზირება მანქანური სწავლების გამოყენებით 133	133

24. **Andrii Shaykan, Ievgen Babakov**
University and War: Life Beyond the Red Line
ანდრეი შაიკანი, ევგენი ბაბაკოვი
უნივერსიტეტი და ომი: ცხოვრება წითელი ხაზის მიღმა 138
25. **Yuliia Bartashevskaya, Halyna Ryzhkova**
Using Data Mining Approaches To Study Youth Readiness For Industry 4.0
იულია ბარტაშევსკა, ჰალინა რიჰკოვა
მონაცემთა მოპოვების მიდგომების გამოყენება ახალგაზრდების მზადყოფნის შესასწავლად
ინდუსტრია 4.0-ისთვის 142
26. **Volodymyr Zaslavskiy, Evgeni Timashov, Zebur Beridze**
Decision Support Model for Monitoring Psychophysiological State with Wearable Edge AI
ვოლოდიმირ ზასლავსკი, ევგენი ტიმაშოვი, ზებურ ბერიძე
გადაწყვეტილების მხარდაჭერის მოდელი ფსიქოფიზიოლოგიური მდგომარეობის
მონიტორინგისთვის Wearable Edge AI-ის გამოყენებით 147
27. **Natallia Yatsevich**
Theoretical Approaches to Defining the Essence of Entrepreneurship
ნატალია იაცევიჩი
თეორიული მიდგომები მეწარმეობის არსის განსაზღვრისათვის 151
28. **Dali Makharadze, Aleksandre Meskhi**
Rubio de Francia's multilinear extrapolation theorem in grand Lebesgue spaces 159
დალი მახარაძე, ალექსანდრე მესხი
რუბიო დე ფრანსიას მრავალაღწერადი ექსტრაპოლაციის თეორემა გრანდ ლეზგეს სივრცეებში
29. **Besarion Shanshiashvili, Nugzar Kavlashvili**
Identification of One Class of Closed-Loop Nonlinear Dynamic Systems in the Frequency Domain 166
ბესარიონ შანშიაშვილი, ნუგზარ ყავლაშვილი
ერთი კლასის კუკავშირიანი არაწრფივი დინამიკური სისტემების იდენტიფიკაცია სიხშირულ არეში
30. **Nino Tsinaridze, Omar Givradze, Giuli Tavdgiridze**
Generated Sets of the Complete Semigroup Binary Relations Defined by Semilattices of the Class $\Sigma_6(X, 5)$. 167
ნინო ცინარიძე, ომარი გივრადე, გიული თავდგირიძე
 $\Sigma_6(X, 5)$ კლასის ნახევარმესერებით განსაზღვრული ბინარულ მიმართებათა სრული
ნახევარჯგუფების დაყვანი წარმომქმნელთა სისტემები
31. **Omar Nakashidze, Lali Kalandadze, Nugzar Ghomidze**
Determination of the effective dielectric permittivity of nanocomposite structures 174
ომარ ნაკაშიძე, ლალი კალანდაძე, ნუგზარ ღომიძე
ნანოკომპოზიტური სტრუქტურების ეფექტური დიელექტრიკული შეღწევადობის განსაზღვრა
32. **Temur Turmanidze, Teimuraz Jojua**
Study of the ultimate strength of concrete in tension from the standpoint of the adsorption theory
of the nature of creep of solid bodies 182
თემურ თურმანიძე, თეიმურაზ ჯოჯუა
ბეტონის სიმტკიცის ზღვრის შესწავლა გაჭიმვაზე მყარი ტანის ცოცვადობის ბუნების
აღსორბეული თეორიის პოზიციიდან
33. **Omar Givradze, Aleksandre Bakuridze, Tengiz didmanidze**
Irreducible generating systems of complete semigroups of binary relations defined by $\Sigma_1(X, 2)$
class semimessers 186
ომარ გივრადე, ალექსანდრე ბაკურიძე, თენგიზ დიდმანიძე
 $\Sigma_1(X, 2)$ კლასის ნახევარმესერებით განსაზღვრული ბინარულ მიმართებათა სრული
ნახევარჯგუფების დაყვანადი წარმომქმნელი სისტემები
34. **Tornike Odishvili, Levan Chkhartishvili**
Polarity of Chemical Bonds in Planar Boron Clusters 192
თორნიკე ოდიშვილი, ლევან ჩხარტიშვილი
ქიმიური ბმების პოლარობა ბორის პლანარულ კლასტერებში
35. **Maia Dzadzamia, Lela Turmanidze, Ruslan Tsinaridze**
Equivariant fiber Shape Category of Equivariant Continuous Maps 197
მაია ძაძამია, ლელა თურმანიძე, რუსლან ცინარიძე
ეკვივარიანტული უწყვეტი ასახვების ეკვივარიანტული ფიბრირებული შეიპური კატეგორია

36. ზურაბ მეგრელიშვილი, იბრაიმ დიდმანიძე, გიორგი მეგრელიშვილი IT ინჟინერიაში არსებული მდგომარეობა და პერსპექტივები Zurab Megrelishvili, Ibraim Didmanidze, Giorgi Megrelishvili Current Situation and Prospects in IT Engineering	201
37. მერაბ ფუტკარაძე, მონიკა ლიპარტია ქალაქ ბათუმის მწვანე ფუნქციური რეკრეაციული ზონების ტერიტორიული ორგანიზაცია და ეკოლოგიური მდგომარეობა Merab Putkaradze, Monika Lipartia Territorial Organization and Ecological Condition of Green Functional Recreational Zones of Batumi City	207
38. მანანა დიდმანიძე, ზურაბ ჯაქარაძე, ანზორ სოლომონიძე უმუშევრობის ეკონომიკური შედეგები Manana Didmanidze, Zurab Zakaradze, Anzor Solomonidze Economic consequences of unemployment	215
39. ალექსანდრე დიასამიძე ლანდშაფტების რეკრეაციული შეფასებისა და კვლევის ორგანიზაცია უმაღლეს სასწავლებლებში Aleksandre Diasamidze Organization of recreational landscape assessment and research in higher education institutions	219
40. მზევინარ ბაკურიძე, ვაჟა ტარიელაძე ლებეგ-ფეჯერ-შტაინჰაუსის თეორემაზე Mzevinar Bakuridze, Vaja Tarieladze On Lebesgue-Fejer-Steinhaus theorem	223
41. ნინო ქიტიაშვილი სოციალური მედიის ზეგავლენა საზოგადოებრივ აზრსა და ინფორმაციის სანდოობაზე: თანამედროვე ICT-ის გამოწვევები და მიღწევები Nino Kitiashvili The Impact of Social Media on Public Opinion and Information Credibility: Challenges and Achievements of Modern ICT	226
42. თინათინ გიორგაძე ლიტერატურის ახალი სიცოცხლე - ციფრული მწერლობა და მედიატრანსფორმაცია Tinatin Giorgadze New Life of Literature - Digital Writing and Media Transformation	230
43. ირაკლი თედორაძე საჯარო ინფორმაციის ნამდვილობის პრობლემა ხელოვნური ინტელექტისა და დეზინფორმაციის ეპოქაში: სამართლებრივი გამოწვევები და რეგულაციის პერსპექტივები Irakli Tedoradze The Problem of Authenticity of Public Information in the Era of Artificial Intelligence and Disinformation: Legal Challenges and Regulatory Perspectives	236
44. იბრაიმ დიდმანიძე, ია ხასაია, ნატო შეროზია პროექტზე დაფუძნებული სწავლების როლი თანამედროვე განათლებაში Ibraim Didmanidze, Ia Khasaia, Nato Sherozia The Role of Project-Based Learning in Contemporary Education	240
45. იბრაიმ დიდმანიძე, ირმა ბაგრატიონი, ირინა ტრუსევიჩი ინფორმაციული ეთიკის ისტორიიდან: პოლიტიკური ინფორმაციის ორგანიზების კულტურა და რისკები Ibraim Didmanidze, Irma Bagrationi, Irina Trusevich From the History of Information Ethics: The Culture and Risks of Organizing Political Information	249
46. ირმა გაბინაშვილი მედიის მომავალი: პროგნოზები, სარგებელი და პრეფერენციები Irma Gabinashvili The Future of Media: Predictions, Benefits, and Preferences	257
47. თინათინ ლეკიაშვილი ამირანდარეჯანიანის ჰიპერბოლიზაცია შუასაუკუნეობრივი აზროვნების კონტექსტში Tinatin Lekiasvili Amirandarejanian's Hyperbolization in the Context of Medieval Thought	266

48.	მადონა მიქელაძე, ნანა მაკარაძე, თათია ნაკაშიძე-მახარაძე მასწავლებლებისა და სკოლების ციფრული კომპეტენციებისა და განვითარების დონის შეფასება: საერთაშორისო გამოცდილება და საქართველო Madonna Mikeladze, Nana Makaradze, Tatia Nakashidze-Makharadze Assessing the Digital Competencies and Development Level of Teachers and Schools: International Experience and Georgia	278
49.	ია მოწყობილი, დარეჯან გელაძე, დიანა ახვლედიანი SMART ტექნოლოგიების როლი განათლების ტრანსფორმაციაში Ia Motskobili, Darejan Geladze, Diana Akhvlediani The role of SMART technologies in the transformation of education	280
50.	ანანო დიასამიძე, ნათია მაკარაძე, ნანა მაკარაძე - ემოციების მართვის როლი თვითრეგულირებადი ქცევის ფორმირებაში სკოლამდელ ასაკში Anano Diasamidze, Natia Makaradze, Nana Makaradze - The role of emotion management in the formation of self-regulated behavior in preschool age	301
51.	ბესიკ ციცაგი ხელოვნური ინტელექტის (AI) გამოყენება გუნდურ სპორტში - ტრავმების პროგნოზირება და ვარჯიშის ოპტიმიზაცია Besik Tsitsagi The use of artificial intelligence (AI) in team sports - Prediction of injuries and optimization of training	302
52.	დარეჯან გელაძე, ია მოწყობილი, შორენა მესხიძე ციფრული თაობა და მასწავლებელი Darejan Geladze, Ia Motskobili, Shorena Meskhidze Digital Generation and Teachers	307
53.	ნინო ირემაძე მედიაწიგნიერების სწავლების მნიშვნელობა სკოლებში Nino Iremadze The Importance of Teaching Media Literacy in Schools	312
54.	რიმა თხილაიშვილი, ნინო ხუჯაძე, დიდარ დიდმანიძე ინფორმაციული სისტემის მართვის პროცესის ოპტიმიზაციის პრინციპები და სწავლებაში გამოყენებული ინტერაქტიული საშუალებები Rima Tkhilaishvili, Nino Khujadze, Didar Didmanidze Principles of Optimization of the Information System Management Process and Interactive Tools Used in Teaching	320
55.	მედეა დიასამიძე, ნინო სამნიძე ინგლისურის შემსწავლელთა მხარდაჭერა: შფოთვის დაძლევა და თავდაჯერებულობის გაზრდა Medea Diasamidze, Nino Samnidze Supporting English Learners: Overcoming Anxiety and Building Confidence	321
56.	თამარ ასანიძე, ირინე ცინცაძე, ნინო ფილია სივრცითი ხანმოკლე მეხსიერების დაქვეითება ალკოჰოლ დამოკიდებულ პაციენტებში Tamar Asanidze, Irina Tsintsadze, Nino Filia Impairment of spatial working memory in alcohol-dependent patients	331
57.	მარინა დიდმანიძე, მანანა კუჭავა, დიდარ დიდმანიძე არაფორმალური განათლების როლი სკოლაში Marina Didmanidze, Manana Kuchava, Didar Didmanidze The role of non-formal education in school	337
58.	თამაზ ფუტკარაძე, ნანი ფუტკარაძე ქართული მიწების ძალადობრივი მიერთების სომხური გეგმები დაშნაკური ხელისუფლების პირობებში Tamaz Putkaradze, Nani Putkaradze Armenian plans for the violent annexation of Georgian lands under the Dashnak government	338
59.	თამარ სურმანიძე ხელოვნური ინტელექტის გამოყენება ლიტერატურის სწავლებაში Tamar Surmanidze The use of artificial intelligence in teaching literature	348

60.	ნელი ახვლედიანი, ზეინაბ ახვლედიანი, ია თურმანიძე ციფრული აგრესიის დისკურსი: კიბერბულინგის ენობრივი სტრატეგიები ფეისბუქ-კომენტარებში Neli Akhvlediani, Zeinab Akhvlediani, Ia Turmanidze Discourse of Digital Aggression: Linguistic Strategies of Cyberbullying in Facebook Comments	353
61.	მაია ტაკიძე ინტერნეტ პლატფორმების გამოყენების შედეგები საგაკვეთილო პროცესში Maia Takidze Results of using Internet platforms in the teaching process	356
62.	მარინე გურგენიძე, ნანი მამულაძე, ანა ოქროპირიძე სამაგისტრო კვლევის მეთოდოლოგიური ასპექტები: გამოწვევები და საუკეთესო პრაქტიკები Marine Gurgenidze, Nani Mamuladze, Ana Okropiridze Methodological Aspects of Master's Research: Challenges and Best Practices	369
63.	თამარ წერეთელი, ნონა ოთხოზორია, დავით კაპანაძე ინფორმაციული სისტემების რისკების ანალიზი და მართვა ISO/IEC 17025-ის მოთხოვნების შესაბამისად Tamar Tsereteli, Nona Otkhozoria, David Kapanadze Risk Analysis and Management of Information Systems in Accordance with ISO/IEC 17025 Requirements ...	375
64.	ლევან იმნაიშვილი, მაგული ბედინეიშვილი, მიხეილ დონაძე დისტანციური ლაბორატორიული ექსპერიმენტის ტექნოლოგიის დანერგვის გამოცდილება Levan Imnaishvili, Maguli Bedineishvili, Mikheil Donadze Experience in implementing remote laboratory experiment technology	376
65.	ანა ფიცხელაური, ნინო ესვანჯია, ლაშა კუთათელაძე დიაგნოსტიკური რეფერენტული დონეების განსაზღვრა გულმკერდის რენტგენოდიაგნოსტიკაში Ana Pitskhelauri, Nino Esvanjia, Lasha Kutateladze Establishing Diagnostic Reference Levels for Chest X-ray Diagnosis	385
66.	ზურაბ გასიტაშვილი, მზია კიკნაძე, თეა თოდუა კონფლიქტური რეგიონების განვითარების მაგალითზე ორგანიზაციულ სისტემებზე მოქმედი ფაქტორების სისტემური ანალიზი Zurab Gasitashvili, Mzia Kiknadze, Tea Todua Systemic Analysis of Factors Affecting Organizational Systems: A Case Study of the Development of Conflict-Affected Regions	389
67.	მზია კიკნაძე, ნატალია გაბაშვილი, ეკატერინე ბოჭორიძე ხელოვნური ინტელექტის მეთოდების გამოყენება წყლის რესურსების ეფექტიანი მართვისთვის Mzia Kiknadze, Natalia Gabashvili, Ekaterine Bochoridze Using Artificial Intelligence Methods for Efficient Water Resources Management	394
68.	ბესიკ კეკელია, ალექსანდრე ალიხანოვი 3D გეომეტრიული აღწერების გამარტივების მეთოდოლოგია ATLAS დეტექტორის ვებ- ვიზუალიზაციისთვის Besik Kekelia, Aleksandr Alikhanov Methodology for simplifying 3D geometric descriptions for web visualization of the ATLAS detector	402
69.	ივერი ჯაჯანიძე ხელოვნური ინტელექტით გაუმჯობესებული DevSecOps უსაფრთხო და თავსებადი CI/CD მილსადენებისთვის Iveri Jajanidze AI-Enhanced DevSecOps for Secure and Compliant CI/CD Pipelines	407
70.	იოსებ ქართველიშვილი, მაია ოხანაშვილი, მიხეილ დარაშვილი უსაფრთხოების მოვლენებზე დაფუძნებული ტიპური ქსელური შეტევების ეტაპებისა და ფაზების ანალიზი Ioseb Kartvelishvili, Maia Okhanashvili, Mikheil Darashvili Analysis of the stages and phases of typical network attacks based on security events	410
71.	მედეა თევდორაძე, ნინო მელიქიძე, თამთა რუხაძე ბანკის ბიზნეს-პროცესების დაპროექტების მიდგომის შემუშავება Medea Tevdoradze, Nino Melikidze, Tamta Rukhadze Development of bank business-processes designing' approach	416

72.	ომარ შამანაძე, ომარ ტყეშელაშვილი, რომან ცერცვაძე მეხუთე და მეექვსე თაობის ციფრული მობილური კომუნიკაციის ტექნოლოგიები: ანალიზი და განვითარების პერსპექტივები Omar Shamanadze, Omar Tkeshelashvili, Roman Tsertsvadze Fifth and sixth generation digital mobile communication technologies: analysis and development prospects 422	422
73.	მარიამ წიკლაური, თათია წმინდაშვილი ემოციის ამოცნობა ელექტროენცეფალოგრაფიული სიგნალებიდან ღრმა სწავლების გამოყენებით: ერთ სუბიექტზე დაფუძნებული კვლევა Mariam Tsiklauri, Tatia Tsmindashvili Emotion Recognition from Electroencephalography Using Deep Learning: A Single-Subject Study 428	428
74.	ალექსანდრე ბენაშვილი, ეკატერინე გვარამია მიმდევრობითი არქიტექტურა - თანამედროვე ტენდენცია ინტერფეისების განვითარების სფეროში Aleksandre Benashvili, Ekaterine Gvaramia Sequential Architecture - A Modern Trend in Interface Development 434	434
75.	გურამ აჭარაძე, გიორგი კირცხალია, მაია ჭოლიკიძე ნეირონული ქსელების ინტეგრაცია BGP მარშრუტიზაციაში: ინტერნეტის უსაფრთხოებისა და ეფექტიანობის ახალი მიდგომა Guram Acharadze, Giorgi Kirtskhalia, Maia Cholikidze Integration of Neural Networks into BGP Routing: A New Approach to Internet Security and Efficiency 440	440
76.	მედეა თევდორაძე, ნინო მელიკიძე, ნინო გუდუშაური BSC-ის მეთოდის ბიზნეს-პროცესების დაპროექტება Medea Tevdoradze, Nino Melikidze, Nino Gudushauri Designing of the BSC-method' business-processes 444	444
77.	ლევანი ჯულაკიძე, ზურაბ ქოჩლაძე, თინათინ კაიშაური ახალი Tweakable ბლოკური ალგორითმი Levani Julakidze, Zurab Kochladze, Tinatin Kaishauri New Tweakable Block Algorithm 452	452
78.	მარინა ქურდაძე, მამუკა გოგაძე, გიორგი მურჯიკნელი ქსელის მართვის რესურსების ეფექტური გამოყენება და შემცირებული ოპერაციული ხარჯების ალგორითმი Marina Kurdadze, Mamuka Gogadze, Giorgi Murjikneli Effective Use of Network Management Resources and Reduced Operating Costs Algorithm 462	462
79.	ქეთევან კოტრიკაძე, თინათინ კაიშაური, ნანა კურკუმული მაკორექტირებელი რგოლების გამოყენების მეთოდები ავტომატური რეგულირების სისტემებში Ketevan Kotrikadze, Tinatin Kaishauri, Nana Kurkumuli Methods of using corrective devices in automatic regulation systems 463	463
80.	გიორგი კუჭავა, იოსებ, ქართველიშვილი, შალვა ვაშალომიძე ქაოსის ინჟინერიის გამოყენება მიკროსერვისული არქიტექტურის მდგრადობის გასაძლიერებლად: „Online Boutique“-ის ქეისის ანალიზი Giorgi Kuchava, Ioseb, Kartvelishvili, Shalva Vashalomidze The Use of Chaos Engineering to Enhance the Resilience of Microservice Architectures: A Case Study of "Online Boutique" 470	470
81.	დალი მაგრაქველიძე, მარიამ ჩხაიძე ფაზი ლოგიკის მეთოდების ინტეგრაცია მანქანური სწავლებაში Dali Magrakvelidze, Mariam Chkhaidze Integration of fuzzy logic methods in machine learning 475	475
82.	ვანო ოთხოზორია, ნინო წიკლაური, ანი იმერლიშვილი ციფრული ტრანსფორმაცია და მისი გავლენა თანამედროვე საწარმოო პროცესებზე Vano Otkhozoria, Nino Tsiklauri, Ani Imerlishvili Digital Transformation and Its Impact on Modern Manufacturing Processes 481	481
83.	ნანი არაბული, ავთანდილ მიგინეიშვილი, მიხეილ გოგნაძე სამხედრო დანაყოფების მართვის საინფორმაციო-ტექნოლოგიური სისტემები Nani Arabuli, Avtandil Migineishvili, Mikheil Gognadze Information Technology Systems for Managing Military Units 495	495

84. **David Saceradze, Gocha Zedginidze**
Synthetic Data Generation, Technological Aspects and Challenges
დავით საცერაძე, გოჩა ჯედგინიძე
სინთეტიკური მონაცემების გენერაცია, ტექნოლოგიური ასპექტები და გამოწვევები 496
85. **ბესარიონ შანშიაშვილი, ირმა დავითაშვილი, ნინო მჭედლიშვილი**
ექსპერიმენტული მონაცემების დამუშავება არაწრფივი სისტემების იდენტიფიკაციისათვის
MATLAB/Simulink გარემოში
Besarion Shanshiashvili, Irma Davitashvili, Nino Mchedlishvili
Experimental Data Processing for Nonlinear System Identification in MATLAB/Simulink 502
86. **ვარდო ჩოხარაძე**
ბგერათმონაცვლეობა თურქეთში მცხოვრები ქართველების მეტყველებაში
Vardo Chokharadze
Sound Alternation in the Speech of Georgians Living Turkey 507
87. **Mezhuyev Vitaliy, Muaz Barucic, Ibraim Didmanidze**
Integration of Artificial Intelligence in Production Planning: A Systematic Literature Review in
Operations Management
მეჟუევი ვიტალი, მუაზ ბარუჩიჩი, იბრაიმ დიდმანიძე
ხელოვნური ინტელექტის ინტეგრაცია წარმოების დაგეგმვაში: სისტემური ლიტერატურული
მიმოხილვა ოპერაციების მენეჯმენტში 512
88. **რუსუდან გოგოხია**
ხელოვნური ინტელექტის ინტეგრირება უცხო ენის სწავლებაში, ChatGPT-ის გავლენა
უცხო ენის შემსწავლელებზე
Rusudan Gogokhia
Integrating Artificial Intelligence into Foreign Language Teaching, The Impact of ChatGPT on
Foreign Language Learners 516
89. **ნანა ფუტკარაძე, ნანული ჩხაიძე**
მოსწავლის მიერ შექმნილი თვალსაჩინოების ეფექტი, უმცროს სასკოლო ასაკში
Nana Phutkaradze, Nanuli Chkhaidze
Efficiency of student-made illustrative materials in early school Age 522
90. **მერაბ მეგრელიშვილი**
ღვაწლი პერსონალია
Merab megrelishvili
Merit and distinguished personality 526
91. **Vasyl Martsenyuk, Tomasz Gancarczyk, Aleksandra Kłos-Witkowska**
Developing AI and Machine Learning Models for Business Optimization
ვასილ მარცენიუკი, ტომაშ განცარჩიკი, ალექსანდრა კლოს-ვიტკოვსკა
AI და მანქანათმცოდნეობის მოდელების შემუშავება ბიზნესის ოპტიმიზაციისთვის 532

ბიზნეს - პროცესების მართვა გაურკვევლობის პირობებში

თამარ ლომინაძე, თალიკო ჟვანია, ლილი პეტრიაშვილი

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

t.lominadze@gtu.ge, talizhvania@gtu.ge, l.petriashvili@gtu.ge

რეზიუმე

თანამედროვე ბიზნეს გარემო სწრაფად ცვალებად ციფრული ტრანსფორმაციის პროცესშია, რასაც თან ახლავს გაურკვევლობა, დინამიკური ცვლილებები და კონკურენტული ზეწოლა. ტრადიციული ანალიტიკური მეთოდები ხშირად ვერ პასუხობენ იმ გამოწვევებს, რომლებიც დაკავშირებულია დიდი მოცულობის არასტრუქტურირებულ მონაცემთა მართვასთან. შესაბამისად, აქტუალური ხდება ინოვაციური მეთოდების დანერგვა, რომლებიც ეფუძნება ალბათურ მოდელირებასა და ხელოვნურ ინტელექტს, რათა ბიზნეს-გადაწყვეტილების მიღება იყოს არა მხოლოდ სწრაფი და მოქნილი, არამედ სანდო და გამჭვირვალე.

ამ კონტექსტში განსაკუთრებულ მნიშვნელობას იძენს ბაიესის მოდელები, ვინაიდან მათი არსი დაფუძნებულია გაურკვევლობის მართვაზე, ცოდნის განახლებაზე და ახალი მონაცემების გათვალისწინებით პროგნოზების ადაპტირებაზე. ბაიესის თეორია საშუალებას იძლევა განისაზღვროს მოვლენების ალბათობა არსებული ცოდნისა და ახალი ინფორმაციის სინთეზით, რაც ქმნის ეფექტურ ჩარჩოს ბიზნეს-პროცესების ოპტიმიზაციისთვის.

აქედან გამომდინარე მნიშვნელოვანი ადგილი უჭირავს ბაიესის მეთოდებსა და მანქანური სწავლების ალგორითმების ინტეგრირებულ გამოყენებას. ამგვარი სინთეზი აძლიერებს პროგნოზირების სიზუსტეს, ამცირებს ინფორმაციულ ხარვეზებს და უზრუნველყოფს მონაცემთა მრავალფაქტორულ ანალიზს. კერძოდ, ბაიესის ქსელებზე დაფუძნებული მოდელები წარმატებით გამოიყენება მომხმარებელთა ქცევის ანალიზში და მათი მოთხოვნის პროგნოზირებაში.

საკვანძო სიტყვები: ბაიესის მეთოდი, AI, პროგნოზირება, ბიზნეს-პროცესები, გაურკვევლობის პირობები

1.შესავალი.

XXI საუკუნის ბიზნეს ეკოსისტემა ხასიათდება მაღალი დონის კომპლექსურობითა და არაპროგნოზირებადობით. ციფრული ტექნოლოგიების სწრაფმა განვითარებამ ერთის მხრივ გაზარდა ინფორმაციის ხელმისაწვდომობა, მეორეს მხრივ კი გაართულა გადაწყვეტილების მიღების პროცესი. ტრადიციული დეტერმინისტური მიდგომები ხშირად არაადეკვატურია თანამედროვე ბიზნეს გამოწვევებისთვის. ბაიესის თეორემა, გვთავაზობს მნიშვნელოვან მიდგომებსა და მეთოდებს გაურკვევლობასთან გასამკლავებლად. ეს თეორემა საშუალებას იძლევა შემოტანილი იქნას სხვადასხვა დაშვებები, რომლითაც მოხდება ახალი ინფორმაციის გენერირება, რაც განსაკუთრებით ღირებულია ბიზნეს-პროცესების მართვისას. ბაიესის მოდელების დანერგვა ციფრული ბიზნეს-პროცესების მართვაში ქმნის ინტეგრირებულ ჩარჩოს, რომელიც აერთიანებს ალბათურ ანალიზს, ხელოვნურ ინტელექტსა და მონაცემთა მეცნიერებას. ეს მიდგომა კომპანიებს აძლევს შესაძლებლობას არა მხოლოდ გაუმკლავდნენ გაურკვევლობას, არამედ შექმნან ინოვაციური, მოქნილი და მდგრადი სტრატეგიები, რომლებიც უზრუნველყოფენ კონკურენტულ უპირატესობას გლობალურად ცვალებად ეკონომიკურ გარემოში.

ბაიესის მოდელების ინტეგრაცია ხელოვნურ ინტელექტთან (AI) ახდენს მნიშვნელოვან გავლენას ბიზნეს-პროცესების ოპტიმიზაციაში. თანამედროვე მანქანური სწავლების ალგორითმები და გენერაციული მოდელები უზრუნველყოფენ დიდი მოცულობის მონაცემთა მრავალგანზომილებიან ანალიზს, რაც ზრდის პროგნოზირების სიზუსტეს და ამცირებს გადაწყვეტილების მიღების დროს. განსაკუთრებით აქტუალურია დიდი ენობრივი მოდელების (LLMs), გამოყენება სწავლების (Reinforcement Learning) და ბაიესის ქსელების კომბინაციით, რომელიც საშუალებას აძლევს კომპანიებს მიიღონ ადაპტური და კონტექსტზე მორგებული გადაწყვეტილებები.

ბაიესის ქსელებისა (BN) და დიდი ენობრივი მოდელების (LLMs) სინთეზი, უზრუნველყოფს როგორც მიზეზობრივი კავშირების მოდელირებას, ასევე არასტრუქტურირებული მონაცემების სიღრმისეულ ანალიზს. ექსპერიმენტული ვალიდაცია მიწოდების ჯაჭვის მართვის (SCM) შემთხვევაში ადასტურებს, რომ ბაიესურ-AI ინტეგრაცია 23%-ით ზრდის გადაწყვეტილების სიზუსტეს და 31%-ით აუმჯობესებს რისკების იდენტიფიცირებას ტრადიციულ მიდგომებთან შედარებით.

2. კვლევის მეთოდოლოგია.

მიწოდების ჯაჭვის ოპტიმიზაცია (SCM) გაურკვევლობის მართვის კრიტიკული სფეროა, სადაც რისკები (მაგ. მომწოდებელთა სანდოობა, ლოგისტიკური ხარვეზები, ბაზრის მოთხოვნის ცვლილება) საჭიროებს უწყვეტ შეფასებას. ჩვენ გამოვიყენეთ ბაიესურ-AI მოდელი მიწოდების ჯაჭვის გაუმართავად მუშაობის ალბათობის პროგნოზირებისთვის.

კვლევის ფარგლებში გამოყენებულ იქნა ბაიესის ქსელებზე (Bayesian Networks) დაფუძნებული მოდელირების სტრატეგია, რომელიც ინტეგრირებულია თანამედროვე მანქანური სწავლების ალგორითმებთან და დიდი ენობრივი მოდელების (Large Language Models – LLMs) ანალიტიკურ ჩარჩოსთან. აღნიშნული მიდგომა მიზნად ისახავს გაურკვევლობის პირობებში ბიზნეს-გადაწყვეტილების მიღების პროცესის ოპტიმიზაციას, პროგნოზირების სიზუსტის გაუმჯობესებას და მონაცემთა ინტერპრეტაციის გაღრმავებას.

ბაიესის ქსელები გამოყენებულ იქნა როგორც ძირითადი ინსტრუმენტი მიზეზობრივი კავშირების მოდელირებისთვის, რაც შესაძლებელს ხდის სხვადასხვა ფაქტორებს შორის დამოკიდებულებების რაოდენობრივად შეფასებას. მოდელების ინტეგრაცია განხორციელდა Gradient Boosting Decision Trees (GBDT) და Reinforcement Learning ალგორითმებთან, რაც უზრუნველყოფს სისტემის ადაპტურობას, თვითსწავლის უნარს და რეალურ დროში გადაწყვეტილების მიღების შესაძლებლობას. ამასთან, LLM-ების ჩართვა ანალიტიკურ პროცესში შესაძლებელს ხდის ტექსტური მონაცემების სიღრმისეულ ანალიზს, კონტექსტის ინტერპრეტაციას და მომხმარებლის ქცევის პროგნოზირებას.

მონაცემთა წყაროებად გამოყენებულ იქნა როგორც სტრუქტურირებული, ასევე არასტრუქტურირებული მონაცემები (მაგ. მომხმარებელთა შეფასებები, სოციალური მედიის აქტივობა). მათი წინასწარი დამუშავება განხორციელდა Feature Engineering ტექნიკების გამოყენებით, ხოლო ტექსტური მონაცემების ანალიზი Natural Language Processing (NLP) მეთოდებით, როგორცაა Tokenization, Named Entity Recognition (NER) და Sentiment Analysis.

მოდელების ვალიდაცია განხორციელდა „კროსვალიდაცია“ (K-Fold Cross-Validation) მეთოდით.

მოდელების სტაბილურობისა და გენერალიზაციის უნარის შესაფასებლად აღნიშნული მეთოდოლოგიური ჩარჩო ქმნის საფუძველს ბაიესის მიდგომების ეფექტიანად გამოყენებისთვის ციფრული ბიზნეს-პროცესების მართვაში, რაც უზრუნველყოფს გადაწყვეტილების

მიღების პროცესის გამჭვირვალობას, ადაპტურობას და პროგნოზირებადობას გაურკვევლობის პირობებში.

დისკუსია: ჩვენს კვლევაში, მოდელების პროგნოზირებადი შესაძლებლობების ობიექტური და სანდო შეფასების უზრუნველსაყოფად, გამოყენებულ იქნა Cross-Validation (ჯვარედინი ვალიდაციის) ფუნდამენტური ტექნიკა. მანქანურ სწავლებაში, მოდელის ხარისხის შეფასებისას, ერთ-ერთი ყველაზე კრიტიკული გამოწვევაა ზედმეტი შესაბამისობის (Overfitting) რისკი, როდესაც მოდელი უნაკლოდ მუშაობს სავარჯიშო მონაცემებზე, მაგრამ კარგავს გენერალიზაციის უნარს უცნობ მონაცემებთან მიმართებაში.

Cross-Validation-ის მეთოდი მიზნად ისახავს სწორედ ამ პრობლემის პრევენციას, რაც უზრუნველყოფს, რომ მიღებული შედეგები ასახავდეს მოდელის რეალურ ოპერაციულ მუშაობას და არა მის ეფექტურობას მხოლოდ იმ კონკრეტულ მონაცემთა ნაკრებზე, რომელზეც ის იყო ნასწავლი.

კერძოდ, K-Fold Cross-Validation (როგორც ჩვენს კვლევაში გამოყენებული სტანდარტული მიდგომა) უზრუნველყოფს მონაცემთა ნაკრების სრულ ეფექტურ გამოყენებას, სადაც მონაცემთა ყოველი წერტილი, საბოლოო ჯამში, ერთხელ მაინც მონაწილეობს ვალიდაციაში. ეს მრავალჯერადი ტესტირება და შედეგების შეჯამება (საშუალო) იძლევა მოდელის მუშაობის უფრო სტაბილურ და ნაკლებად მიკერძოებულ შეფასებას, რაც გადამწყვეტია სხვადასხვა ალგორითმების ობიექტური შედარებისთვის (1-5).

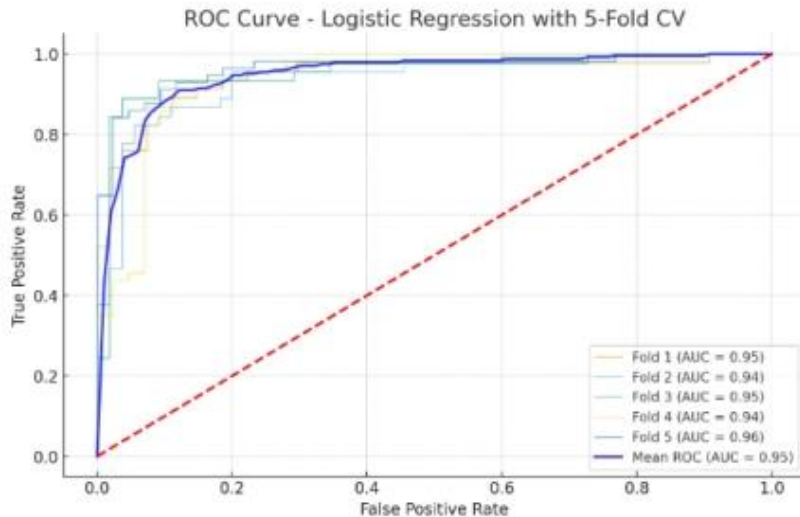
შესაბამისად, ამ მეთოდოლოგიის გამოყენება ჩვენს კვლევას ანიჭებს მეტ სანდოობასა და მეცნიერულ წონას, ვინაიდან მოდელის საბოლოო შეფასება (F1-Score, AUC - Area Under the Curve და სხვ.) ეფუძნება მონაცემთა ცვალებადობის სრულყოფილ გათვალისწინებას.

ლოგისტიკურ პროცესების მართვაში წარმოქმნილი ხარვეზის პროგნოზირების ყველაზე ოპტიმალურია ლოგისტიკური რეგრესიის მოდელის გამოყენება, რომლის შემოწმებაც მოვახდინეთ K-Fold Cross-Validation-ით (მაგალითად, 5-ჯერადი cross-validation). ქვემოთ წარმოდგენილი ცხრილი ასახავს მოდელის მუშაობის სტაბილურობასა და ეფექტურობას თითოეული გადაკვეთის (Fold) მიხედვით, რაც უზრუნველყოფს, რომ მიღებული შედეგები არ არის დამოკიდებული მონაცემთა კონკრეტულ დაყოფაზე.

ცხრილი გვიჩვენებს, თუ როგორ მუშაობდა ლოგისტიკური რეგრესიის მოდელი 5-ჯერადი კროს-ვალიდაციის თითოეულ ეტაპზე.

ვალიდაციის ნომერი	სიზუსტე	განმეორებადობა	სწორი შემთხვ.	F1-შეფასება	AUC
1	0.83	0.81	0.79	0.80	0.86
2	0.85	0.82	0.81	0.81	0.88
3	0.80	0.78	0.76	0.77	0.83
4	0.84	0.83	0.80	0.81	0.87
5	0.82	0.80	0.79	0.79	0.85
საშუალო (Mean ± Std)	0.83 ± 0.02	0.81 ± 0.02	0.79 ± 0.02	0.80 ± 0.02	0.86 ± 0.02

გრაფიკზე ასახულია 5-ჯერადი Cross-Validation-ით მიღებული ROC მრუდი, რომელიც კლასიფიკაციის მოდელის მიკერძოებული უნარის შეფასების ვიზუალიზაციაა.



გრაფიკი ვიზუალურად ადასტურებს, რომ ლოგისტიკური რეგრესიის მოდელი არის ძლიერი, საიმედო და სტაბილური ხელსაწყო ლოგისტიკური ხარვეზის პროგნოზირებისთვის, რადგან მისი მრუდის ქვეშ მოთავსებული სივრცის საშუალო მნიშვნელობა 0.95-ია.

ჩვენ მიერ განხილულმა ლოგისტიკურმა რეგრესიამ და კროს-ვალიდაციამ დაამტკიცა, რომ სტატისტიკური მოდელები შესანიშნავად მუშაობს რისკების ორობითი (დიახ/არა) პროგნოზირებისას. თუმცა, რთულ და დინამიკურ ლოგისტიკურ გარემოში, სადაც მონაცემები მუდმივად იცვლება და გაურკვევლობა მაღალია, საჭიროა ისეთი მიდგომები, რომლებიც არა მხოლოდ პროგნოზს აკეთებენ, არამედ პროგნოზის სიზუსტეში ექვსაც აფასებენ. აქ შემოდის ბაიესური ინტეგრაცია ხელოვნურ ინტელექტში (Bayesian Integration in AI). თუკი ჩვენი ლოგისტიკური რეგრესია გვამღევდა ხარვეზის ერთ კონკრეტულ ალბათობას, ბაიესური მეთოდები საშუალებას გვამღევს, დავითვალოთ ალბათობათა მთელი განაწილება. ეს ნიშნავს, რომ AI სისტემა არა მხოლოდ იტყვის: „ხარვეზის ალბათობაა 95%“, არამედ დაამატებს: „ჩვენი მოდელი ამ პროგნოზში 99%-ით დარწმუნებულია“. ბაიესური AI-ს გამოყენება ლოგისტიკურ მართვაში უზრუნველყოფს გაურკვევლობის რაოდენობრივ შეფასებას, რაც კრიტიკულია იმ გადაწყვეტილებების მისაღებად, რომლებსაც მაღალი ფინანსური ან ოპერაციული რისკი მოჰყვება (6-10).

მოდელების ვალიდაციისთვის გამოვიყენეთ ROC-მრუდი და F1-მეტრიკა – ეს უკანასკნელი განსაკუთრებით მოსახერხებელია კლასიფიკაციის ხარისხის რაოდენობრივი შეფასებისთვის, რადგან ასახავს Precision-ისა და Recall-ის ბალანსს. ეს საშუალებას გვამღევს, მოდელი შევაფასოთ არა მხოლოდ სიზუსტის, არამედ მნიშვნელოვანი (ხშირად იშვიათი) შემთხვევების აღმოჩენის უნარის მიხედვითაც. კლასიფიკაციის სიზუსტის დამატებით შესაფასებლად გამოვიყენეთ Accuracy და AUC მეტრიკები, ხოლო ალბათური განაწილებების სანდოობის შესამოწმებლად - MCMC მეთოდი.

შედარებითი ანალიზი ჩავატარეთ ტრადიციულ დეტერმინისტულ მიდგომებთან, კერძოდ, სტანდარტულ ლოგისტიკურ რეგრესიასთან. ROC-მრუდის ასაგებად გამოვიყენეთ TPR (True Positive Rate) და FPR (False Positive Rate) მნიშვნელობები სხვადასხვა ზღვრული დონისთვის. შევადარეთ ორი მოდელი:

- ბაიესურ-AI მოდელი (რომელმაც საგრძნობლად უკეთესი შედეგი აჩვენა)
- და ტრადიციული რეგრესიული მოდელი.

შედეგად Cross-validation-ის შედეგები აჩვენებს, რომ ლოგისტიკური რეგრესიის მოდელი გამოირჩევა მაღალი საიმედოობით და პროგნოზირების სტაბილურობით, რაც დასტურდება 0.83 შუალედური Accuracy-ით, მცირე სტანდარტული გადახრით და 0.86 AUC მაჩვენებლით, რომელიც ადასტურებს მის ძლიერ დიფერენცირების უნარს. ასევე, Recall-ის 0.79 მნიშვნელობა მიუთითებს, რომ მოდელი ეფექტურად ახდენს ხარვეზების უდიდესი ნაწილის იდენტიფიცირებას, რაც ოპერაციულ გარემოში უზრუნველყოფს რისკების ადრეულ აღმოჩენასა და პრევენციულ მართვას.

ქვემოთ მოცემულ ცხრილ 1-ში წარმოდგენილია შედარება ბაიესურ მოდელებზე დაფუძნებულ AI მიდგომასა და ტრადიციულ (დეტერმინისტულ) ანალიტიკურ მეთოდებს შორის ოთხი ძირითადი კრიტერიუმის მიხედვით.

კრიტერიუმი	ბაიესურ-AI მიდგომა	ტრადიციული (დეტერმინისტული)	გაუმჯობესება
სიზუსტე	87%	71%	+16%
ადაპტაცია	მაღალი	დაბალი	+45%
გაუმართავობა	12%	28%	-16%
ROI (ინვესტიციის დაბრუნება)	156%	124%	+32%

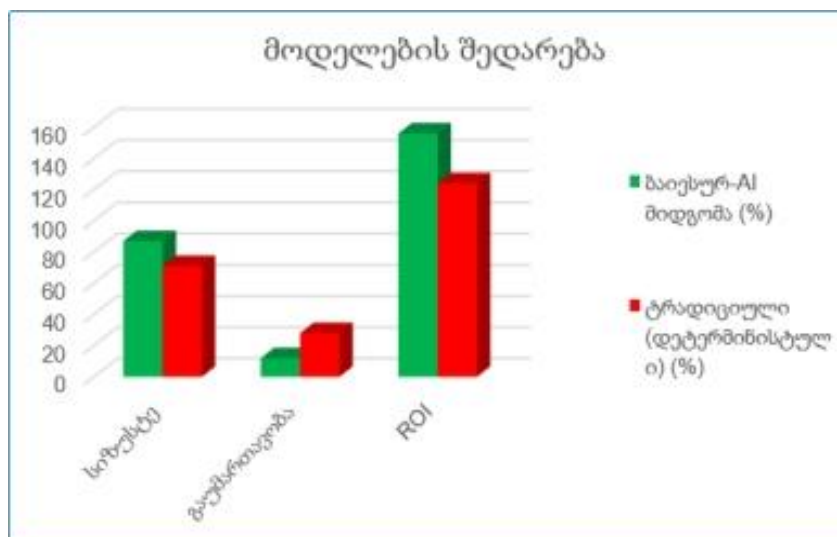
ცხრილი 1

ცხრილ 2 ზე წარმოდგენილია შედარებითი ანალიზის ცხრილი, რომელიც წარმოადგენს შესრულების მეტრიკების შედარებას ორ მოდელს შორის.

კრიტერიუმი	ბაიესურ-AI მიდგომა (%)	ტრადიციული (დეტერმინისტული) (%)
სიზუსტე	87	71
გაუმართავობა	12	28
ROI	156	124

ცხრილი 2.

წარმოდგენილი დიაგრამა ნათლად აჩვენებს ბაიესურ-AI ინტეგრაციის უპირატესობას ტრადიციულ მიდგომებთან შედარებით:



- **დადებითი მეტრიკები** (სიზუსტე, ROI) არის **აღმავალი** (ზრდის ტენდენციით), რაც ასახავს გაუმჯობესებულ პროგნოზირებას და ფინანსურ ეფექტურობას.
- **უარყოფითი მეტრიკა** (გაუმართავობა) არის **დაღმავალი** (კლების ტენდენციით), რაც აჩვენებს რისკების მნიშვნელოვან მინიმიზაციას.

ეს ვიზუალიზაცია ადასტურებს, რომ ბაიესის მეთოდების ინტეგრაცია AI-სთან ქმნის **უფრო ეფექტურ და მყარ** გადაწყვეტილების მიღების შესაძლებლობას, რაც კრიტიკულია გაურკვევლობის მართვისთვის.

AI ასევე იძლევა შესაძლებლობას არასტრუქტურირებული მონაცემების (ტექსტები, სურათები, სოციალური მედიის ჩანაწერები) ინტეგრირებისა და ანალიზისთვის, რაც ბიზნესს აძლევს უფრო კომპლექსურ და სრულ სურათს მომხმარებლის ქცევისა და ბაზრის ტენდენციების შესახებ. ბაიესიურ ჩარჩოებში ხელოვნური ინტელექტის გამოყენება საშუალებას იძლევა გაუმჯობესდეს რისკების მართვის მოდელები, მიწოდების ჯაჭვის ოპტიმიზაცია, ფინანსური პროგნოზირება და კიბერუსაფრთხოების მექანიზმები.

3. დასკვნა.

ბაიესური მეთოდები ქმნიან თვისებრივად განსხვავებულ, უფრო მოქნილ მიდგომას, რომელიც არა მხოლოდ პროგნოზის შედეგს, არამედ პროგნოზის სანდოობასა და ალბათურ განაწილებასაც ასახავს. შედეგად, მენეჯერული გადაწყვეტილების მიღებისას შესაძლებელი ხდება გადაწყვეტილება მიღებული იქნას არა ინტუიციით, არამედ რაოდენობრივად გაზომვად რისკებზე დაყრდნობით. განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია, რომ ბაიესური მოდელები საშუალებას იძლევა ინტეგრირდეს როგორც ისტორიული მონაცემები, ისე ექსპერტის ცოდნა, რაც განასხვავებს მათ სხვა სტანდარტული მოდელებისგან და ზრდის ეფექტიანობას მცირე ან არასრულ მონაცემთა პირობებშიც.

კვლევაში გამოყენებული ბაიესურ-AI მოდელის შედარებითი ანალიზი ტრადიციულ მიდგომებთან ადასტურებს მისი უპირატესობას როგორც პროგნოზირების სიზუსტეში (საშუალოდ +16%), ისე რისკების დროულ იდენტიფიცირებასა და ბიზნესის შედეგების ოპტიმიზაციაში. Cross-Validation-ის, ROC-მრუდისა და სხვა შეფასების მეტრიკების გამოყენებამ გამოავლინა მოდელების მაღალი სტაბილურობა, გენერალიზაციის უნარი და ოპერატიულ დონეზე სანდოობა.

აღნიშნული მიდგომა ქმნის მყარ საფუძველს ინოვაციური მმართველობითი სისტემების განვითარებისთვის და გარდაქმნის მონაცემებზე დაფუძნებული სტრატეგიული გადაწყვეტილებების მიღებას თანამედროვე ბიზნესის ერთ-ერთ უმთავრეს კონკურენტულ უპირატესობად.

გამოყენებული ლიტერატურა:

1. Bayes, T. (1763). "An Essay towards solving a Problem in the Doctrine of Chances". *Philosophical Transactions of the Royal Society*, 53, 370-418.
2. Berger, J. O. (1985). *Statistical Decision Theory and Bayesian Analysis*. New York: Springer-Verlag.
3. Gelman, A., Carlin, J. B., Stern, H. S., & Rubin, D. B. (2013). *Bayesian Data Analysis*. London: Chapman and Hall/CRC.
4. Hammer, M., & Champy, J. (1993). *Reengineering the Corporation: A Manifesto for Business Revolution*. New York: HarperBusiness.
5. Jensen, F. V., & Nielsen, T. D. (2007). *Bayesian Networks and Decision Graphs*. New York: Springer.

6. Kahneman, D., & Tversky, A. (1979). "Prospect Theory: An Analysis of Decision under Risk". *Econometrica*, 47(2), 263-291.
7. Pearl, J. (1988). *Probabilistic Reasoning in Intelligent Systems*. San Francisco: Morgan Kaufmann.
8. Raiffa, H. (1968). *Decision Analysis: Introductory Lectures on Choices under Uncertainty*. Reading, MA: Addison-Wesley.
9. Van Hee, K., & van der Aalst, W. (2004). "Workflow Management: Models, Methods, and Systems". *MIT Press*.
10. West, M., & Harrison, J. (1997). *Bayesian Forecasting and Dynamic Models*. New York: Springer-Verlag.

Models for Business Process Management under Uncertainty

Tamar Lominadze, Taliko Zhvania, Lili Petriashvili

Georgian Technical University

t.lominadze@gtu.ge, talizhvania@gtu.ge, l.petriashvili@gtu.ge

Abstract

The modern business environment is rapidly evolving in the context of digital transformation, accompanied by uncertainty, dynamic changes, and competitive pressure. Traditional analytical methods often fail to address the challenges associated with managing large volumes of unstructured data. Consequently, the implementation of innovative methods based on probabilistic modeling and artificial intelligence becomes increasingly relevant, allowing business decision-making to be not only fast and flexible but also reliable and transparent.

In this context, Bayesian models gain particular importance, as their essence is based on managing uncertainty, updating knowledge, and adapting forecasts by incorporating new data. Bayesian theory enables the determination of the probability of events by synthesizing existing knowledge with new information, creating an effective framework for optimizing business processes.

Accordingly, the integrated use of Bayesian methods and machine learning algorithms plays a significant role. Such a synthesis enhances forecasting accuracy, reduces information gaps, and ensures multifactorial data analysis. In particular, models based on Bayesian networks are successfully used in analyzing customer behavior and forecasting their demand.

Keywords: Bayesian method, AI, forecasting, business processes, uncertainty

საზოგადოება - ინფორმაციული სისტემის დრუბლოვანი პორტალის შექმნა CASE და AI ტექნოლოგიებით

გია სურგულაძე, ნინო თოფურია, მარინა ქაშიბაძე

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, თბილისი, საქართველო
g.surguladze@gtu.ge, nino.topuria@gtu.ge, kashibadzemarina08@gtu.ge

რეზიუმე

განხილულია საინფორმაციო საზოგადოების ფორმირების პროცესში ინფორმაციული და კომუნიკაციური ტექნოლოგიების ინოვაციური როლი სამართლებრივ, ტექნიკურ-ეკონომიკურ, ეკოლოგიურ და სოციალურ-კულტურულ სფეროთა მდგრადი განვითარების საქმეში. შემოთავაზებულია სტუ-ის პროგრამული ინჟინერიის დეპარტამენტში შემუშავებული მეთოდოლოგია თანამედროვე ინფორმაციული სისტემების დაპროექტების და დაპროგრამების პროცესების ავტომატიზაციის მიზნით. კერძოდ, საპროექტო ობიექტის პროგრამული უზრუნველყოფის შექმნის სასიცოცხლო ციკლის ეტაპების შესაბამისად CASE ტექნოლოგიების და ხელოვნური ინტელექტის მეთოდების გამოყენებით იქმნება ფუნქციურ მომხმარებელთა ვებ-პორტალი კლიენტ-სერვერული და სერვის-ორიენტირებული არქიტექტურის საფუძველზე Azure SQL Server-ის და დაპროგრამების ჰიბრიდული ტექნოლოგიების (WCF/WPF) გამოყენებით. განხილულია საილუსტრაციო პრაქტიკული მაგალითები განათლების, შავი ზღვის ეკომონიტორინგის და მულტიმოდალური გადაზიდვების ლოგისტიკის მენეჯმენტის სისტემებისთვის.

საკვანძო სიტყვები: კომპიუტერული საინფორმაციო სისტემა. ვებ-პორტალი. დრუბლოვანი ტექნოლოგია. ო-დაპროექტება. UML. პეტრის ფერადი ქსელი. CPN. ჰიბრიდული დაპროგრამება. შავი ზღვის ეკომონიტორინგი. ლოგისტიკის მენეჯმენტი.

1. შესავალი.

XXI საუკუნის ერთ-ერთი გლობალური პრობლემაა საინფორმაციო საზოგადოების ფორმირება და მისი დაჩქარების ხელშეწყობა. კოვიდ-პანდემიის წლებმა (2019-2021) აშკარად დაადასტურა ამ საკითხის მოგვარების მნიშვნელობა და სადღეისო აქტუალურობაც საზოგადოების, ეკონომიკის, მატერიალურ-ტექნიკური და ცხოვრების დონეების სამომავლო მდგრადი განვითარებისათვის [1].



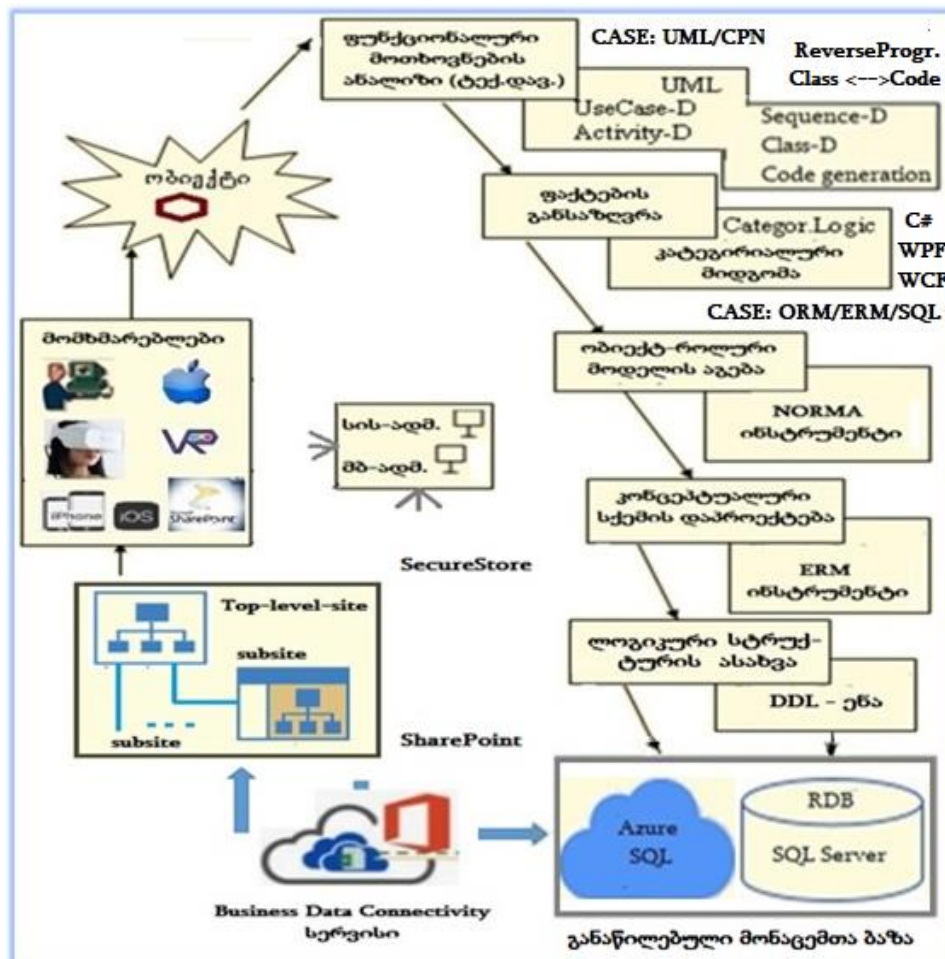
Orbicom – ITI LiRiC CIAREI კონგრესი „კომუნიკაცია, ხელოვნური ინტელექტი, რეაბილიტაცია, ეთიკა და ინკლუზია“ მიზნად ისახავს კომუნიკაციაში *გენერაციული ხელოვნური ინტელექტის* (AI) განვითარებასთან დაკავშირებული შესაძლებლობებისა და რისკების შეფასებას, განსაკუთრებით ეთიკური გამოყენებისა და ინკლუზიურობის, ასევე საზოგადოებრივი პრობლემების გამოსწორების პერსპექტივიდან [2].

უწყვეტი განათლების სისტემაში ICT სფეროს დისციპლინების შექმნისა და მისი დიდაქტიკის ინტენსიფიკაცია ციფრული ტექნოლოგიების ბაზაზე, მეტად მნიშვნელოვანია [1,2]. განსაკუთრებით საყურადღებოა სკოლებსა და უნივერსიტეტებში ინტეგრირებული გაკვეთილებისა და ინტერდისციპლინური ლექციების დანერგვა და განვითარება [3-5].

წინამდებარე სტატიაში, სისტემების ზოგადი თეორიის (კლასიკური მიდგომა) საფუძველზე, განვიხილავთ ინფორმაციული სისტემების ღრუბლოვანი (ვირტუალური) ვებ-პორტალის ავტომატიზებული აგების მეთოდოლოგიას (რამდენიმე კვლევის სფეროს მაგალითზე). ასეთი სისტემების პროგრამული უზრუნველყოფა იქმნება ინტეგრირებული ჰიბრიდული პროდუქტის სახით, მისი საგნობრივი შედგენილობის და სტრუქტურის ილუსტრაციით. საწყისი მონაცემების (ფუნქციურ მომხმარებელთა ცოდნის) ანუ საპროექტო ობიექტის სპეციფიკაციების საფუძველზე მოხდება მისი პროგრამული აპლიკაციის შექმნა ჩვენი ტექნოლოგიის შესაბამისი ადაპტაციით) [3,6-10].

2. მეთოდოლოგია.

1-ელ ნახაზზე მოცემულია სტუ-ის პროგრამული ინჟინერიის დეპარტამენტში შემუშავებული მეთოდოლოგიის სქემა საინფორმაციო სისტემების დაპროექტებისა და დაპროგრამების პროცესების ავტომატიზაციის მიზნით [9]. პროცესები შესაბამისობაშია პროგრამული უზრუნველყოფის შექმნის სასიცოცხლო ციკლის (მაგალითად, სპირალური მოდელის) ეტაპებთან და ხორციელდება იტერაციულად, ვერსიების განვითარების საფუძველზე.



ნახ. 1. კვლევის ობიექტის ვებ-პორტალის ავტომატიზებული აგების მეთოდოლოგია

ჩვენი კონცეფცია ეფუძნება UML/Agile მეთოდოლოგიათა კომპრომისული მიდგომების გათვალისწინებას, რომელშიც ხორციელდება მომხმარებელთა ბიზნეს-მოთხოვნილებათა განსაზღვრა, ობ-ანალიზი და პროექტირება, მათი ინტერფეისების შექმნა, მონაცემთა ბაზის (ან

საცავის) ღრუბლოვანი არქიტექტურის ავტომატიზებული აგება კატეგორიული მიდგომის საფუძველზე და ობიექტ-როლური ინსტრუმენტის გამოყენებით [11]:

2.1. პროგრამული აპლიკაციის სპეციფიკაციის შემუშავება: ამ ეტაპზე გამოიყენება CASE_1 ტექნოლოგია, რომელიც მოიცავს UML Activity D აგებას და შესაბამისი ეკვივალენტური პეტრის ფერადი ქსელის დაპროექტებას CPN ინსტრუმენტით. პეტრის ქსელით ხდება ბიზნეს-პროცესის მოდელის დინამიკის გამოკვლევა და მისაღები ვარიანტის შერჩევა. ბოლოს ვაგებთ მისი შესაბამისი აქტიურობის დიაგრამას. შედეგად განისაზღვრება სისტემის სპეციფიკაცია.

2.2. ობ-დაპროექტება: CASE_2 ტექნოლოგიის დანიშნულებაა რევერსული პროგრამირების მეთოდის და ინსტრუმენტის გამოყენება (ClassD $\leftrightarrow$ Code [C#,WPF]) კვლევის ობიექტის კლასთა დიაგრამის დასაპროექტებლად. მიღებული შედეგის – კლასთა დიაგრამის საფუძველზე ხდება კოდის ავტომატიზებული გენერაცია [10].

2.3. მონაცემთა ბაზის აგების ავტომატიზაცია: CASE_3 ტექნოლოგია ახორციელებს კვლევის ობიექტის კონცეპტუალური მოდელის დაპროექტებას დამკვეთი-მომხმარებელის ცოდნის საფუძველზე (ORM->ERM->DDL->SQL $\rightarrow$ Azure SQL) [11].

2.4. ვებ-პორტალის აგება – SharePoint -ის საფუძველზე.

განვიხილოთ მოკლედ საილუსტრაციო მაგალითები აღნიშნული მეთოდოლოგიის გამოყენებით. კერძოდ, 1) განათლების, 2) ლოგისტიკა-ტრანსპორტირების, 3) შავი ზღვის ეკომონიტორინგის [IoT და ხელოვნური ინტელექტის გამოყენებით] სისტემებისათვის:

➤ განათლება

საინფორმაციო ტექნოლოგიების ინტეგრაცია განათლების პროცესში მნიშვნელოვან როლს ასრულებს უწყვეტი განათლების ხელშეწყობაში. უნივერსიტეტებში შესაძლებელია სტუდენტთა ვებ-პორტალის შექმნა SharePoint Online და Power Apps პლატფორმების გამოყენებით, სადაც სტუდენტები იღებენ პერსონალიზებულ ინფორმაციას სასწავლო კურსებზე, განრიგებზე, გამოცდების შედეგებზე და საკონსულტაციო რესურსებზე. Power Automate უზრუნველყოფს ავტომატიზებულ შეტყობინებებსა და დოკუმენტბრუნვას, ხოლო Azure SQL მონაცემთა ბაზა - სწავლის პროცესის მონაცემების ცენტრალიზებულ და უსაფრთხო მართვას. ასეთი მიდგომა ზრდის სწავლის პროცესის გამჭვირვალობას, აუმჯობესებს ადმინისტრაციულ ეფექტიანობას და ხელს უწყობს ჰიბრიდული სწავლების განვითარების ტენდენციას.

სტუდენტთა ვებ-პორტალის შექმნის პროცესში, საწყის ეტაპზე გამოიყენება UML Use Case დიაგრამა, რომლითაც აღწერილია სტუდენტებისა და ადმინისტრაციის მოთხოვნები (საგნების რეგისტრაცია, შეფასებების ნახვა, სასწავლო მასალებზე წვდომა). მიღებული სპეციფიკაციები გადაიქცევა კლასთა დიაგრამად, რომელიც განსაზღვრავს სისტემის ობიექტურ სტრუქტურას. შემდგომ ხდება CPN (Color Petri Net) მოდელით პროცესების სიმულაცია (მაგ., გამოცდების რეგისტრაციის ნაკადების ეფექტიანობის შესამოწმებლად). მონაცემები ინახება Azure SQL Database-ში, ხოლო ინტერფეისისათვის გამოიყენება WPF/SharePoint ჰიბრიდული ტექნოლოგიები [3].

➤ ლოგისტიკა და მულტიმოდალური გადაზიდვები

მულტიმოდალური გადაზიდვების ლოგისტიკური პროცესების მართვა მოითხოვს სხვადასხვა ტრანსპორტის (ავტო, სარკინიგზო, საზღვაო) ინტეგრაციას ერთიან საინფორმაციო სისტემაში. Azure-ზე დაფუძნებული ვებ-პორტალის მეშვეობით შესაძლებელია გადაზიდვის მარშრუტების დაგეგმვა, რეალურ დროში მონიტორინგი და რესურსების ოპტიმიზაცია. მონაცემები ინახება Azure SQL Server-ში, ხოლო Power BI უზრუნველყოფს გადაზიდვების

ანალიტიკას და პროგნოზირებას (მაგალითად, დაგვიანების ან ხარჯების გადაჭარბების ალბათობა) [8].

ლოგისტიკური პროცესების მოდელირებისთვის პირველ რიგში იქმნება UML Sequence Diagram, რომელიც ასახავს ტრანსპორტირების ჯაჭვში მონაწილე სუბიექტებსა და სისტემებს (ავტომობილი, სარკინიგზო, საზღვაო ტრანსპორტი, საწყობი, საბაჟო). პროცესების დინამიკის შესამოწმებლად გამოიყენება CPN მოდელი, რომელიც აფასებს შეფერხებებისა და რესურსების გადატვირთვის რისკებს. დაპროექტების ეტაპზე იქმნება კლასთა დიაგრამა, რომელიც ინტეგრირებულია Azure SQL Server-ის სქემასთან. ბოლო შედეგი მიიღება სერვის-ორიენტირებული არქიტექტურით (SOA) და ჰიბრიდული პროგრამირების (WCF/WPF) გამოყენებით.

➤ შავი ზღვის ეკომონიტორინგი

საქართველოს 400 კმ-იან შავი ზღვის აკვატორიაში წყლის ხარისხის მონიტორინგისთვის გამოიყენება IoT სენსორები, რომლებიც აფიქსირებს ფიზიკურ (ტემპერატურა, გამჭვირვალობა, ტურბიდობა), ქიმიურ (pH, ხსნადი ჟანგბადი, მარილიანობა) და ბიოლოგიურ პარამეტრებს. სენსორებიდან მიღებული მონაცემები რეალურ დროში იგზავნება ღრუბლოვანი პლატფორმაზე Azure IoT Central-ის საშუალებით, სადაც ხდება მათი ავტომატიზებული დამუშავება Stream Analytics სერვისით. მონაცემთა შენახვა ხორციელდება Azure SQL Database-ში, რაც უზრუნველყოფს მონაცემების სტრუქტურირებულ და უსაფრთხო მართვას [9].

შემდგომ Power BI ანალიზისა და ვიზუალიზაციის ინსტრუმენტების მეშვეობით შესაძლებელია ტენდენციების შეფასება, გაფრთხილების სისტემის გააქტიურება და გადაწყვეტილების მხარდამჭერი მოდელების შემუშავება. ასეთი მიდგომა მნიშვნელოვნად აუმჯობესებს გარემოსდაცვითი მონიტორინგის სიზუსტეს და დროული რეაგირების მექანიზმებს, განსაკუთრებით მაშინ, როცა საქმე ეხება მდინარისა და ზღვის ესტუარებთან დაკავშირებულ ეკოლოგიურ რისკებს.

IoT სენსორების ინტეგრაციისთვის პირველ რიგში იქმნება UML Activity Diagram, სადაც აღწერილია მონაცემთა ნაკადები – სენსორიდან IoT Gateway-მდე, IoT Central-იდან Azure SQL Database-მდე და საბოლოოდ Power BI-მდე. პროცესის სიმულაცია CPN ქსელებით იძლევა შესაძლებლობას შემოწმდეს რეაგირების დრო საგანგებო სიტუაციებში (მაგალითად, წყლის ხარისხის უეცარი გაუარესებისას). ობიექტ ორიენტირებული დაპროექტება მოიცავს სენსორისა და მონაცემთა ობიექტების კლასთა დიაგრამას, რომელიც სინქრონიზებულია Azure SQL სქემასთან. შედეგად იქმნება ჰიბრიდული პლატფორმა (IoT + AI + Cloud), რომელიც უზრუნველყოფს რეალურ დროში ეკოლოგიური რისკების პროგნოზირებას.

2.5. ხელოვნური ინტელექტის მეთოდების გამოყენება ინფორმაციული სისტემების დაპროექტების და პროგრამირების ავტომატიზაციის პროცესებში ყოველთვის იყო და რჩება აქტუალურ მიმართულებად [5]. ჩვენი მეთოდოლოგიის ფარგლებში შემუშავებულია რიგი სტრუქტურებისა და ალგორითმებისა მონაცემთა რელაციური ბაზების ოპტიმალური სქემების ასაგებად (დაფუძნებული ე. გალუას ჯგუფთა თეორიის ადაპტირებულ ალგორითმზე და მონაცემთა ბაზის ნორმალურ ფორმათა თეორიის გამოყენებაზე) [6].

ამასთანავე ვაგრძელებთ კვლევებს AI - მეთოდების და მათი ახალი სპეციალიზებული ენების და სისტემების გამოყენებისათვის. მაგალითად, chatGPT, რომელიც ჯერ-ჯერობით გამოსადეგია მცირე ზომის პროგრამების ასაგებად. ბოლო წლებში მახვილდება ყურადღება ახალი ენის - Amazon Kiro-ს შესაძლებლობაზე, რომლის საბოლოო ვერსია ჯერ არაა, მაგრამ მასზე დიდ იმედებს ამყარებენ [12]. AWS' Agentic AI based IDE არის ახალი, ხელოვნური ინტელექტით მართული ინტეგრირებული განვითარების გარემო, რომელიც შექმნილია

დეველოპერების დასახმარებლად პროგრამული უზრუნველყოფის შემუშავების მთელი სასიცოცხლო ციკლის განმავლობაში, საწყისი კონცეფციიდან დასრულებულ კოდამდე.

3. დასკვნა

კვლევის ფარგლებში შემუშავებული მეთოდოლოგია არის თანამედროვე ინფორმაციული სისტემების ავტომატიზებული აგების სისტემატური მიდგომა, რომელიც აერთიანებს CASE ტექნოლოგიებს, UML/CPN მოდელირებას, ოო-დაპროექტებას, ჰიბრიდულ პროგრამირებას (WCF/WPF) და ღრუბლოვანი არქიტექტურას (Azure SQL, Power Platform). მისი გამოყენება შესაძლებელს ხდის სხვადასხვა დარგში სისტემების სწრაფ, ეფექტიან და მდგრად განვითარებას.

განათლების სფეროში ინტეგრირებული ვებ-პორტალები SharePoint Online და Power Apps უზრუნველყოფს სტუდენტთა პერსონალიზებულ მონაცემებზე წვდომას, ავტომატიზებულ დოკუმენტბრუნვას Power Automate-ით და მონაცემთა სტრუქტურირებულ მართვას Azure SQL-ში. ამ მიდგომით შემუშავდა ჰიბრიდული სწავლების მოდელი, რომელიც აუმჯობესებს აკადემიურ პროცესს, ზრდის სწავლების გამჭვირვალობას და წყვეტს განათლების ინიციატივების რეალიზაციას, მათ შორის ვირტუალური რეალობის სისტემების გამოყენებას [3,7].

ლოგისტიკისა და მულტიმოდალური გადაზიდვების მართვის სისტემებში SOA და CPN მოდელირების გამოყენებით ხდება პროცესების ოპტიმიზაცია, რესურსების მართვა, გადაზიდვის მარშრუტების დაგეგმვა და რეალურ დროში სტატუსის კონტროლი. მონაცემთა ცენტრალიზებული მართვა Azure SQL Server-ით და ანალიტიკა Power BI-ში უზრუნველყოფს გადაწყვეტილების მხარდაჭერ მოდელს, რაც მნიშვნელოვნად ამცირებს ოპერაციულ რისკებს და ზრდის ლოგისტიკური ჯაჭვების ეფექტიანობას [8].

წყლის რესურსების ეკომონიტორინგისთვის მნიშვნელოვანია IoT სენსორებით რეალურ დროში მონაცემთა შეგროვება და მათი დამუშავება Azure IoT Central-ით და Stream Analytics-ით, რაც ზრდის გარემოსდაცვითი მონიტორინგის ეფექტიანობას. მონაცემთა შენახვა და ანალიზი Azure SQL Database-ში და Power BI-ის ვიზუალიზაციებით შეიძლება დროული რეაგირება წყლის ხარისხის გაუარესებისას, რაც განსაკუთრებით საჭიროა შავი ზღვის ეკოსისტემის დაცვისა და მდინარეთა ესტუარებთან დაკავშირებული ეკოლოგიური რისკების მინიმიზაციისთვის [9].

ხელოვნური ინტელექტის პერსპექტივები ამ მიდგომაში მნიშვნელოვანია. იგი ხელს უწყობს პროგრამული კოდის გენერაციას, პროცესების ავტომატიზაციას და გადაწყვეტილებათა მხარდაჭერას, განსაკუთრებით დიდ მონაცემთა ანალიზის და პროგნოზირებისას. კვლევამ აჩვენა, რომ ChatGPT მოდელები ეფექტიანია მცირე ზომის პროგრამებისთვის, თუმცა კომპლექსური სისტემების დროს საჭიროა დამატებითი AI სერვისების (Copilot, Amazon CodeWhisperer, Azure AI) ინტეგრაცია. სამომავლო კვლევები ფოკუსირდება შემდეგ საკითხებზე:

a) პროგნოზირებადი ანალიტიკის გაუმჯობესება – AI მოდელების გამოყენება საგანმანათლებლო და სხვა სფეროთა პროცესების პროგნოზირებისთვის; b) ინტელექტუალური ასისტენტების ინტეგრაცია – ბუნებრივი ენის დამუშავების (NLP) ინსტრუმენტების გამოყენება მომხმარებლის მხარდაჭერის, ავტომატიზებული დიაგნოზის და რეკომენდაციების სისტემებში; c) ციფრული ტრანსფორმაციის გამაძლიერებელი პლატფორმები – ჰიბრიდული და ღრუბლოვანი არქიტექტურების ოპტიმიზაცია. მთლიანობაში, კვლევა ადასტურებს, რომ მეთოდოლოგიური მიდგომა, ჰიბრიდული ტექნოლოგიების და AI-ის ინტეგრაციის სახით

ქმნის საფუძველს ეფექტიანი, მდგრადი და ინოვაციური საინფორმაციო სისტემების განვითარებისთვის, რაც აჩქარებს ინფორმაციული საზოგადოების ფორმირების გლობალურ პროცესს.

ლიტერატურა – References:

1. World Summit on the Information Society Forum 2025. Internet resource: <https://www.itu.int/net4/wsis/forum/2025/> (14.09.25)
2. CIAREI Congress „Communication, artificial intelligence, remediation, ethics and inclusion”. (29.09-1.10.2025), Strasbourg (France). Internet resource: <https://orbicom-2025.sciencesconf.org/?forward-action=index&forward-controller=index&lang=en> (5.09.25)
3. Chogovadze G., Surguladze G., Topuria N., Kharitonashvili M. Information Society and Interdisciplinary Learning based on Digital Technologies. ISBN 978-9941-8-3338-0. Monograph. GTU, "IT-Consulting Scientific Center". Tbilisi, 2021. 360 p. (in Georgian)
4. Surguladze, G., Petriashvili, L., Topuria, N. Information Society and Interdisciplinary Didactics of Informatics. Education and science of today: intersectoral issues and development of sciences: Collection of scientific papers «ΛΟΓΟΣ» wi. Cambridge, 978-1-8380555-5-4, 2022. DOI 10.36074/logos-09.12.2022. 114-117
5. Surguladze, G. Innovative didactics of informatics: 100 books - for the 100th anniversary (history and reality). Conf. "Innovations and Modern Challenges 2022", dedic. to the 100th annivers.of the GTUniv., 18-19 Nov., Tbilisi, 11-16. ISBN 978-9941-28-944-6. Publishing House "Technical University" (in Georgian)
6. Surguladze, G. Technology of Building a Network of Automated Workplaces of the Corporation (the first Georgian ERP system - 1990). ISBN 978-9941-8-5109-4. Monogr. GTU. "IT-Consulting Scien.Center". 2023, 331 p.
7. Surguladze G., Topuria N., Amilakhvari N. *Information Society and Didactics of Informatics*. in book The Internet and Information and Communication Technologies in Today's Society. Cambridge Scholars Publishing. 2024. pp.2-9. ISBN: 978-1-0364-0768-1, ISBN (Ebook): 978-1-0364-0769-8
8. Surguladze Gia., Surguladze Giorgi, Karkasahadze I., Mchedlishvili A. Building an information system supporting logistics management. ISBN 978-9941-8-2487-6. Monogr. GTU. "IT-consulting center". Tb., 2020. -350 p.
9. Gavardashvil G., Surguladze G., Petriashvili L., Zhvania T., Topuria N. Automated Construction Technology of Black Sea Ecomonitoring Information System. IEEE Intern. Black Sea Conf. on Communications and Networking. 24-27 June 2024. Tbilisi, Georgia. DOI: 10.1109/BlackSeaCom61746.2024.10646252
10. Surguladze G., Bitarashvili M., Geladze B., Nareshelashvili G., Shurghaia I. CASE method of reverse programming for perfecting the process of object-oriented design of information systems. Transactions of GTU "Automated Control Systems. No1(37). Tbilisi, pp.115-121. DOI.org/10.36073/1512-3979 (in Georgian)
11. Halpin T. Object Role Modeling (ORM 2). Neumont University. Salt Lake City, Utah, USA. <https://www.orm.net/> (29.08.25)
12. Ross M. Introducing Kiro – AWS' Agentic AI based IDE. Medium. 2025. <https://markcrosscloud.medium.com/introducing-kiro-aws-agentic-ai-based-ide-cded711b1409> (21.09.25) (20.09.25)

Information Society - Creation of a Cloud Portal for Information System using CASE and AI Technologies

Gia Surguladze, Nino Topuria, Marina Kashibadze

Georgian Technical University, Tbilisi, Georgia

g.surguladze@gtu.ge, nino.topuria@gtu.ge, kashibadzemarina08@gtu.ge

Abstract

The innovative role of ICT in the process of forming Information Society in the sustainable development of legal, technical-economic, ecological and socio-cultural spheres is discussed. A methodology developed at the Department of Software Engineering of GTU is proposed for the automation of the processes of designing and programming modern information systems. In particular, in accordance with the stages of the life cycle of creating software for a design object, a functional user web portal is created using CASE technologies and artificial intelligence methods based on client-server and service-oriented architecture using Azure SQL Server and hybrid programming technologies (WCF/WPF). Illustrative practical examples are discussed for education, Black Sea eco-monitoring, multimodal transportation logistics management, etc. systems.

Keywords: Computer information system. Web portal. Cloud technology. OO-design. UML. Colored Petri net. CPN. Hybrid programming. Black Sea ecomonitoring. Logistics management.

სამეცნიერო-ტექნიკური ამოცანების გადაწყვეტა Python დაპროგრამების ენაზე

ლელა გაჩეჩილაძე, ლაშა იაშვილი, ლიანა ნონიკაშვილი

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

l_gachechiladze@gtu.ge, l.iashvili@gtu.ge, nonikashvili55@mail.ru

რეზიუმე

განხილულია Python დაპროგრამების ენის ფართო შესაძლებლობები სამეცნიერო-ტექნიკური ამოცანების გადაწყვეტის მიზნით. შემუშავებულია ვექტორების სკალარული ნამრავლის გამოთვლის, წრფივ განტოლებათა სისტემის და პირველი რიგის დიფერენციალური განტოლების ამოხსნის და დაპროგრამების სხვადასხვა ენის web-ში, მონაცემთა მეცნიერებასა და თამაშებში გამოყენების ამსახველი პროგრამული კოდები.

დასმული ამოცანების პროგრამული რეალიზების მიზნით შემოთავაზებულია Python დაპროგრამების ენის ისეთი მნიშვნელოვანი ბიბლიოთეკები, როგორიცაა: numpy - მასივებზე ოპერაციის შესრულებისთვის, SciPy - დიფერენციალური განტოლებების რიცხვითი ამოხსნისა და ფუნქციების ოპტიმიზაციისთვის, Matplotlib - მონაცემების დამუშავების, გაფილტვრისა და ვიზუალიზაციისთვის. პროგრამული კოდების შედეგები წარმოდგენილია როგორც კონსოლზე, ასევე გრაფიკული ფორმით.

პროგრამები შესრულებულია Pycharm ინტეგრირებულ გარემოში, რომელიც გამოირჩევა მოქნილობითა და პროგრამისტისთვის კომფორტული შესაძლებლობებით.

ვიმედოვნებთ, რომ სტატია სასარგებლო იქნება როგორც დამწყებთათვის, ასევე გამოცდილი პროფესიონალებისთვის, რომლებიც დაინტერესებულნი არიან Python-ის გამოყენებით სამეცნიერო და ტექნიკურ კვლევებში.

საკვანძო სიტყვები: Python, შესრულების ინტეგრირებული გარემო Pycharm, ბიბლიოთეკები: SciPy, NumPy, Matplotlib.

1. შესავალი.

Python-ი სამეცნიერო კვლევებისა და ინჟინერიის სფეროში ერთ-ერთ ყველაზე პოპულარულ დაპროგრამების ენას წარმოადგენს თავისი სიმარტივის, მოქნილობისა და ბიბლიოთეკების მდიდარი ეკოსისტემის გამო.

წინამდებარე სტატიაში განვიხილავთ Python-ის გამოყენების შესაძლებლობებს სამეცნიერო და საინჟინრო მიმართულების ისეთი პრობლემების გადასაჭრელად, როგორიცაა: მონაცემთა ანალიზი და სამეცნიერო ამოცანების რიცხვითი გადაწყვეტა.

კვლევის მიზნის მისაღწევად ჩვენ მიერ გამოყენებულ იქნა Python-ზე დაპროგრამების არაერთი ბიბლიოთეკა. კერძოდ, მასივებთან და მატრიცებთან სამუშაოდ მივმართეთ NumPy ბიბლიოთეკას, რომელიც მაღალეფექტურ ინსტრუმენტებს გვთავაზობს რიცხვითი გამოთვლებისათვის. ამას გარდა, დიფერენციალური განტოლებების რიცხვითი ამოხსნისა და ფუნქციების ოპტიმიზაციისთვის გამოყენებულ იქნა SciPy ბიბლიოთეკა, ხოლო მონაცემთა ანალიზისა და შედეგების ვიზუალიზაციისთვის - Matplotlib ბიბლიოთეკის შესაძლებლობები.

2. მეთოდოლოგია.

კვლევის ერთ-ერთი მთავარი მიზანი Python-ის გამოყენების ეფექტურობის შესწავლა გახლდათ სამეცნიერო და ტექნიკური პრობლემების გადასაჭრელად. შედეგებმა გვიჩვენა, რომ Python-ის ბიბლიოთეკების გამოყენება მაღალ წარმადობას და სიზუსტეს უზრუნველყოფს მათემატიკური ოპერაციებისა და რიცხვითი მეთოდების შესრულებისას. კერძოდ:

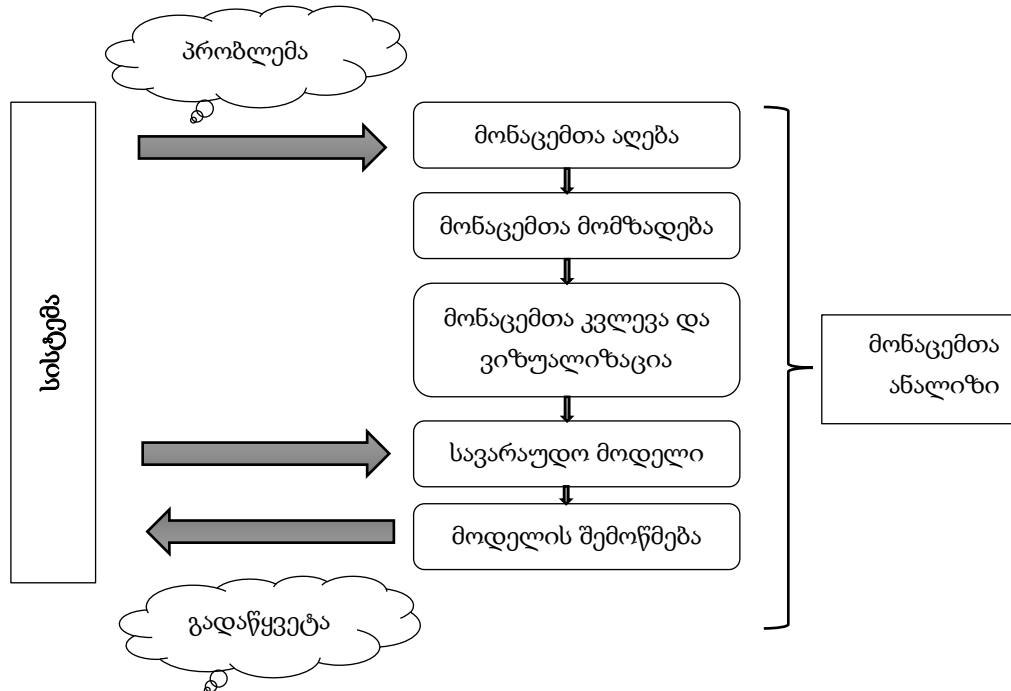
NumPy ბიბლიოთეკის გამოყენებამ მნიშვნელოვნად დააჩქარა ოპერაციები მასივებსა და მატრიცებზე, რაც აუცილებელია დიდი რაოდენობის მონაცემების დამუშავებისას და რთული ფუნქციების გამოთვლისას.

SciPy ბიბლიოთეკამ უზრუნველყო საიმედო ალგორითმები დიფერენციალური განტოლებების რიცხვითი ამოხსნისა და ფუნქციების ოპტიმიზაციისთვის, რაც Python-ს ძლიერ ინსტრუმენტად აქცევს რთული მოვლენების მოდელირებისა და სისტემის პარამეტრების ოპტიმიზაციისთვის.

Matplotlib ბიბლიოთეკის გამოყენებამ გაამარტივა მონაცემების დამუშავება, გაფილტვრა და ვიზუალიზაცია. მრავალფეროვანი გრაფიკებისა და დიაგრამების აგებამ შესაძლებელი გახადა, დაგვენახა მონაცემთა უერთიერადმოკიდებულებები, რასაც უდიდესი მნიშვნელობა ენიჭება კანონზომიერების დადგენისა და გადაწყვეტილებების მიღების დროს.

3. მსჯელობა და შედეგები

პირველ სურათზე ნაჩვენებია, თუ როგორ წარმოებს მონაცემთა ანალიზი.



სურ. 1. მონაცემთა ანალიზი

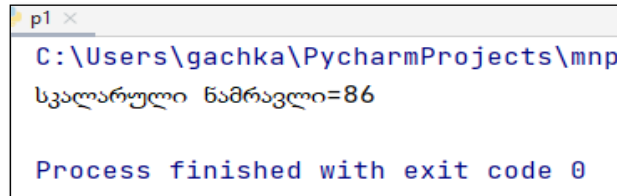
განვიხილოთ მასივებთან მუშაობის ძირითადი ნაწილი:

Python დაპროგრამების ენა NumPy ბიბლიოთეკის მეშვეობით მასივებთან და მატრიცებთან მუშაობის მძლავრ ინსტრუმენტებს გვთავაზობს. ეს უკანასკნელი მრავალგანზომილებიან მასივებზე მაღალეფექტურ ოპერაციებს უზრუნველყოფს და მას მათემატიკური ოპერაციების ფართო სპექტრის მხარდაჭერა აქვს.

ქვემოთ წარმოდგენილია ორი ვექტორის სკალარული ნამრავლის გამოთვლის პროგრამული კოდი:

```
import numpy as np
vec1=np.array([3,4,5]); vec2=np.array([6,7,8])
result=np.dot(vec1, vec2); print("სკალარული ნამრავლი=",result, sep="")
```

პროგრამის შესრულების შედეგი მე-2 სურათზეა ნაჩვენები.



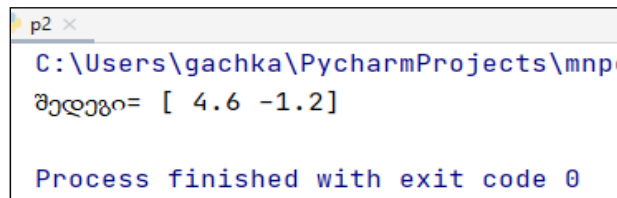
```
p1 x
C:\Users\gachka\PycharmProjects\mnop
სკალარული ნამრავლი=86
Process finished with exit code 0
```

სურ. 2. ვექტორების სკალარული ნამრავლის გამოთვლის შედეგი განვიხილოთ წრფივ განტოლებათა შემდეგი სისტემის ამოხსნის მაგალითი:

$$\begin{cases} 2x + y = 8 \\ x + 3y = 1 \end{cases} \quad (1)$$

დასმული ამოცანის გადაწყვეტის პროგრამულ კოდს ქვემოთ ნაჩვენები სახე აქვს, ხოლო მისი შესრულების შედეგები მე-3 სურათზეა ნაჩვენები.

```
import numpy as np
# განტოლებათა სისტემის კოეფიციენტები
coeff1 = np.array([[2, 1], [1, 3]])
# მნიშვნელობები
values1 = np.array([8, 1])
```



```
p2 x
C:\Users\gachka\PycharmProjects\mnop
შედეგი= [ 4.6 -1.2]
Process finished with exit code 0
```

```
result = np.linalg.solve(coeff1, values1); print("შედეგი=", result)
```

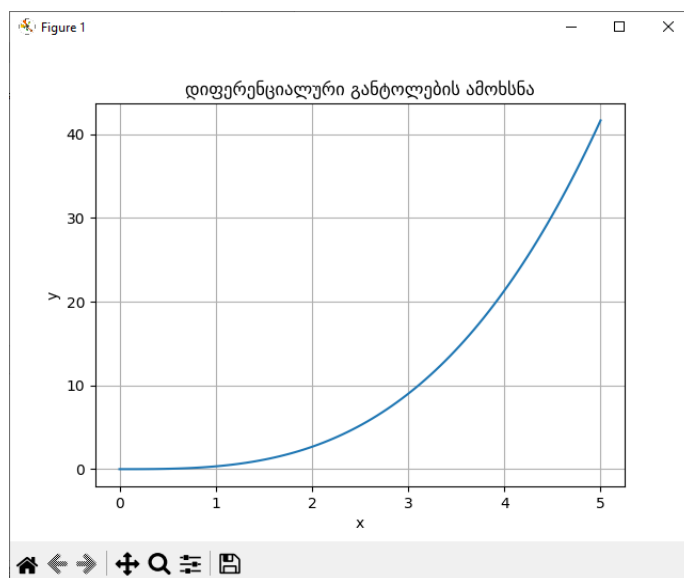
სურ. 3. წრფივ განტოლებათა სისტემის ამოხსნის შედეგი

აღსანიშნავია, რომ წრფივ განტოლებათა სისტემის ამოხსნელად numpy ბიბლიოთეკიდან პითონი გვთავაზობს linalg.solve() ფუნქციის გამოყენებას.

ახლა წარმოვადგინოთ $\frac{dy}{dx} = x^2$ პირველი რიგის დიფერენციალური განტოლების ამოხსნის პროგრამული კოდი, რომლის შედეგი გრაფიკული სახით მე-4 ნახაზზეა ნაჩვენები.

```
import numpy as np
from scipy.integrate import odeint
import matplotlib.pyplot as plt
def function(y, x):
    return x**2
# საწყისი პირობა
condition = 0
# x-ის მნიშვნელობები ინტეგრირებისთვის
x_values = np.linspace(0, 5, 100); result = odeint(function, condition, x_values)
plt.plot(x_values, result); plt.xlabel("x"); plt.ylabel("y")
```

```
plt.title("დიფერენციალური განტოლების ამოხსნა"); plt.grid(True); plt.show()
```



სურ. 4. პირველი რიგის დიფერენციალური განტოლების ამოხსნის შედეგი

დიფერენციალურ განტოლებათა რიცხვითი ამოხსნისთვის ჩვენ მიერ გამოყენებული იქნა `scipy` ბიბლიოთეკა.

ამჯერად, ერთ ფანჯარაში წარმოვადგინოთ შემდეგ ფუნქციათა გრაფიკები:

$$y = 4x + 3; y_1 = 3x^2 + 5; y_2 = 5 * x^3; y_3 = x^4, \text{ სადაც } x \text{ იცვლება ინტერვალში: } [1;9]. \quad (2)$$

დასმული ამოცანის პროგრამულ კოდს ქვემოთ ნაჩვენები სახე აქვს, ხოლო პროგრამის შესრულების შედეგები მე-5 სურათზეა ნაჩვენები.

```
import matplotlib.pyplot as plt
```

```
import numpy as np
```

```
x=np.arange(1,10)
```

```
y=4*x+3
```

```
y1=3* x**2+5
```

```
y2=5* x**3
```

```
y3= x**4
```

```
plt.subplot(2,2,1); plt.plot(x,y,'red')
```

```
plt.subplot(2,2,2)
```

```
plt.plot(x,y1)
```

```
plt.subplot(2,2,3); plt.plot(x,y2, 'green')
```

```
plt.subplot(2,2,4)
```

```
plt.plot(x,y3,'yellow')
```

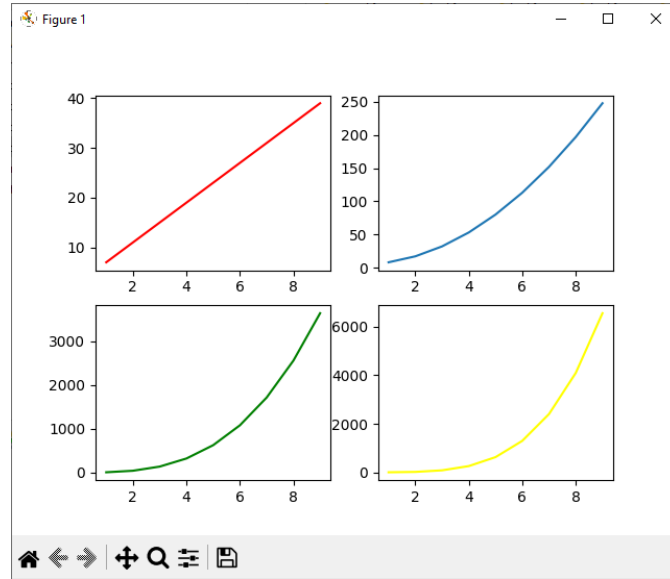
```
plt.show()
```

აღსანიშნავია ის ფაქტი, რომ ზემოთ წარმოდგენილ პროგრამულ კოდებში განთავსებული `numpy` და `scipy` ბიბლიოთეკების ინსტალირების მიზნით `Pycharm` შესრულების ინტეგრირებული გარემოს ტერმინალზე გამოყენებულ იქნა შემდეგი ბრძანებები:

```
pip install pyinstaller numpy
```

```
pip install pyinstaller scipy
```

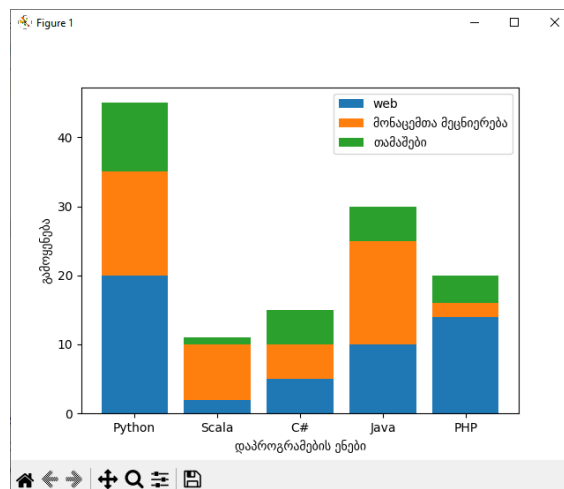
რომელთა ინსტალირების გარეშე უბრალოდ ვერ იმუშავებდა ნაჩვენები პროგრამული კოდები.



სურ. 5. ფუნქციების გრაფიკები

ახლა განვიხილოთ, თუ როგორ ხდება სვეტოვანი დიაგრამის აგება, რომლიც გვიჩვენებს დაპროგრამების ისეთი ენების, როგორიცაა: Python, Scala, Java, C# და PHP გამოყენებას web-ში, მონაცემთა მეცნიერებასა და თამაშებში. ქვემოთ წარმოდგენილი პროგრამული კოდის შესრულების შედეგი მე-6 სურათზეა ნაჩვენები.

```
import matplotlib.pyplot as pyplot
labels=('Python','Scala','C#', 'Java', 'PHP')
index=(1,2,3,4,5); web=[20, 2, 5, 10, 14]; data_science=[15, 8, 5, 15, 2]; games=[10, 1, 5, 5, 4]
pyplot.bar(index,web,tick_label=labels,label='web')
pyplot.bar(index,data_science,tick_label=labels,label='მონაცემთა მეცნიერება', bottom=web)
web_and_games = [web[i] + data_science[i]
for i in range(0, len(web))]
pyplot.bar(index, games, tick_label=labels, label='თამაშები', bottom=web_and_games)
pyplot.xlabel("დაპროგრამების ენები");
pyplot.ylabel("გამოყენება");pyplot.legend();pyplot.show()
```



სურ. 6. დაპროგრამების ენების გამოყენება სხვადასხვა მიმართულებით

4. დასკვნა

ამრიგად, ჩატარებული კვლევის საფუძველზე, თამამად შეიძლება ითქვას, რომ Python-ი არის დაპროგრამების ძლიერი და უნივერსალური ენა სამეცნიერო-ტექნიკური პრობლემების გადასაჭრელად. სიმარტივე, მოქნილობა და მდიდარი სტანდარტული ბიბლიოთეკა მას იდეალურ პლატფორმად აქცევს მონაცემთა ანალიზისა და სხვადასხვა სახის განტოლებების რიცხვითი ამოხსნისთვის. ამიტომ, Python-ი კვლავ პოპულარულ არჩევანს წარმოადგენს მეცნიერებსა და ინჟინრებს შორის, რომლებიც ცდილობენ ეფექტურად გადაჭრან რთული სამეცნიერო და ტექნიკური პრობლემები.

გამოყენებული ლიტერატურა:

1. W. McKinney Python for Data Analysis: Data Wrangling with Pandas, NumPy, and IPython. Sebastopol, CA: O'Reilly Media. 2018.
2. J. VanderPlas. Python Data Science Handbook: Essential Tools for Working with Data. Sebastopol, CA: O'Reilly Media. 2016.
3. M. Lutz. Learning Python: Powerful Object-Oriented Programming. Sebastopol, CA: O'Reilly Media, 2013.
4. M. Waskom. Seaborn: statistical data visualization. Journal of Open Source Software, 5(86), 3529. 2020.
5. J. D. Hunter. Matplotlib: A 2D Graphics Environment. Computing in Science & Engineering, 9(3), 90-95. 2007.
6. L. Gachechiladze. Python Programming Language. Publishing House "Technical University". 2018

Solving scientific- technical problems in the Python programming language

Lela Gachechiladze, Lasha Iashvili, Liana Nonikashvili

Georgian Technical University

l_gachechiladze@gtu.ge, l.iashevili@gtu.ge, nonikashvili55@mail.ru

Abstract

The article discusses the wide possibilities of the Python programming language for solving scientific and technical problems. Program codes have been developed for calculating the scalar product of vectors, solving a system of linear equations, solving a first-order differential equation and using them in various programming languages for the web, data science and games.

For the programming implementation of the tasks are used, such important libraries of the Python programming language as: numpy - for performing operations on arrays, SciPy - for numerically solving differential equations and optimizing functions, Matplotlib - for processing, filtering, and visualizing data. The results of the program codes are presented both in console and graphical form.

The programs are written in the Pycharm integrated environment, which is flexible and comfortable for the programmers.

We hope that the article will be useful for both beginners and experienced specialists interested to using Python in scientific and technical research.

Keywords: Python, Pycharm - integrated development environment, libraries: SciPy, NumPy, Matplotlib.

Decentralizing Climate Action: Leveraging Blockchain Technology for Enhanced Transparency and Efficiency in Carbon Removal and Credit Markets

Zurab Meskhidze

NFT FOREST GEORGIA LLC

zurab@nftforest.ge

Abstract

The accelerating climate crisis, driven primarily by CO₂ emissions, necessitates robust and trustworthy mechanisms for climate mitigation, with carbon credits serving as a crucial market-based tool. These credits grant the owner the license to emit a certain quantity of greenhouse gas (typically one metric ton of CO₂ equivalent). The global carbon credit market is expanding rapidly, projected to grow from nearly \$979 billion to over \$2.6 trillion by 2028. However, this vital system is hindered by pervasive issues, including the complexity and inefficiency of manual carbon footprint calculations, lack of transparency and traceability, and the critical risks of double-counting and fraud. This paper explores how Blockchain technology, leveraging decentralized ledgers, smart contracts, and tokenization, offers definitive solutions to these systemic failures, enabling a secure, transparent, and highly efficient ecosystem for carbon removal projects and credit trading.

1. Introduction: The Urgency for Integrity in Climate Finance

Immediate and verifiable climate action is mandatory to address global warming. Carbon credits, which incentivize emitters to reduce output or invest in clean energy projects, are critical components of the response. The mechanics of this market involve companies either reducing emissions or purchasing credits. Carbon credits differ from carbon offsets; credits are permits to emit, often used in compliance markets like "cap-and-trade," while offsets represent verified reductions or removals of CO₂.

1.1. Challenges of the Traditional Carbon Market

The effectiveness of current carbon markets is compromised by fundamental challenges inherent in traditional processes:

Manual Calculation Inaccuracy: Manually tracking and quantifying carbon emissions, especially for large organizations with complex operations, is overwhelming and error-prone. Data collection is challenging, and human errors in calculation or inconsistent data formats compromise reliability. Furthermore, manually keeping up with the dynamic nature of emissions factors is difficult, leading to outdated calculations.

Lack of Transparency and Trust: The existing market suffers from a lack of traceability, making it difficult to track a carbon credit's origin and journey from project development to retirement. This environment fosters mistrust, allowing for fraudulent activities, such as selling credits from non-existent projects.

Double-Counting: A persistent major concern is when the same emission reduction is claimed by multiple parties or under different programs.

Verification Difficulty: Assessing the actual impact of offset projects, particularly those related to land use and forestry, is complex and uncertain. Determining the crucial "additionality"-whether the reductions would have occurred without the credit revenue-is a persistent challenge.

The integration of Blockchain technology is anticipated to accelerate, especially given that national standards, such as those being developed by the People's Republic of China's Ministry of Industry and Information Technology, are incorporating the technology into the carbon sector.

2. Blockchain Architecture for Enhanced Carbon Accountability

Blockchain technology, functioning as a decentralized database or digital ledger, provides features uniquely suited to address the core failures of the carbon market, enhancing transparency, security, and efficiency.

2.1. Trust and Data Integrity. Blockchain utilizes a distributed, secured, and shared ledger to record and track data.

- **Immutability and Transparency:** The immutability of blockchain records ensures that once data related to emissions is added, it cannot be altered retroactively. This feature prevents unauthorized changes, enhancing the accuracy and reliability of calculations. The transparency of the distributed ledger allows stakeholders to trace every emission offset transaction, minimizing the room for manipulation or fraud.
- **Tokenization for Double-Counting Prevention:** Blockchain enables the tokenization of carbon credits. Each carbon credit is represented by a unique digital token, making it technically impossible to spend or claim the same credit more than once, thereby eliminating double-counting. Tokenization also allows for fractional ownership, enabling smaller investors to participate in climate action.
- **IoT and Real-Time MRV:** A key contribution is the use of IoT-compatible smart sensors to calculate energy usage and generate data that is debugged and aggregated directly onto the blockchain. This integration ensures real-time data updates, addressing the issue of dynamic emission factors and improving the granularity and accuracy of monitoring, reporting, and verification (MRV).

2.2. Smart Contracts and Automation. Smart contracts are self-executing, irreversible digital agreements written into code and executed on the blockchain.

- **Process Automation:** Smart contracts automate key processes such as the issuance, transfer, and retirement of carbon credits once predefined conditions are met. This automation minimizes the number of steps required, leading to faster transactions.
- **Incentive Systems:** Smart contracts are described as a "fantastic instrument" for motivating participation in global green activities. They can create globally accessible, fully automated incentive systems that reward positive actions like regenerative agriculture or carbon offsets.
- **Compliance and Regulation:** Smart contracts can be programmed to enforce adherence to relevant regulations and standards, ensuring that carbon credits meet required criteria and fostering a compliant market.

3. Application in Carbon Removal and Decentralized Finance

Blockchain technology is actively used to drive investment and participation in genuine carbon removal projects, particularly nature-based solutions.

High-Integrity Carbon Removal Projects. For carbon offsets to be legitimate, they must meet the criteria of AVID+: Additional, Verifiable, Immediate, and Durable, plus co-benefits.

- **Verifiable Natural Carbon Sinks:** The preservation or restoration of tropical peatlands is considered a potentially high-integrity offset method because the massive amounts of carbon stored in the waterlogged soil are quantifiable. Measuring changes in the land's elevation, verifiable remotely by plane or satellite, provides a precise measure of stored or released carbon.
- **Fast-Growing Carbon Sinks:** Certain fast-growing trees, such as the Empress Splendor (Paulownia) tree, are highly effective carbon sinks. These trees grow three times faster than traditional trees, absorb over 300 kg of CO₂ per growth cycle, and are capable of regenerating after being cut.
- **Tokenized Reforestation Models:** Innovative financial models are leveraging tokenization for reforestation. For example, a unique digital asset, such as an NFT, can represent a real, growing Paulownia tree. As the tree grows and sequesters CO₂, generating carbon credits, those credits can be sold to companies seeking offsets. When the timber is harvested, the profits return to the NFT holder, linking sustainability and profitability.

Empowering Individual Climate Action. Blockchain facilitates the shift toward one-person carbon trading, addressing the historical problem that the public often does not value carbon emissions, leading to a lack of market growth.

- **Incentivizing Low-Carbon Behavior:** Individuals who engage in low-carbon activities (like taking public transportation, recycling, or saving electricity) can accumulate carbon credits, often called "carbon coins" or "energy," which are deposited into a blockchain account.
- **Real-World Examples:** In 2016, Shenzhen, China, piloted a carbon currency trading platform coordinated with urban management and traffic police, allowing residents to earn carbon coins usable for public services. Similarly, the "Forest of Ants" initiative in China tallies reduced emissions as virtual "energy" to grow a virtual tree, leading to the planting of a real tree by financial partners, motivating users toward low-carbon environmental protection behavior.

4. Discussion: Implementation Considerations and Regulatory Future

Technical Architecture and Energy Efficiency. When implementing blockchain solutions for enterprise or climate use cases, the choice of network architecture is critical, particularly concerning energy consumption.

- **Energy Consumption Context:** The global Bitcoin network consumed 90.86 TWh and 37.97 MtCO₂eq of electricity during a stated period, equating to 0.08 percent of the world's annual total CO₂eq footprint. Companies calculating their carbon impact from interacting with such networks must distinguish between renewable and fossil energy sources utilized.
- **Enterprise-Grade Permissioned Networks:** For enterprise applications where high transaction speed, performance, and data privacy are paramount, permissioned or consortium blockchains are often preferred. Quorum, a fork of the Ethereum codebase created by JP Morgan, is specially designed for use in a private or consortium blockchain network.
 - Quorum is a lightweight fork of Geth (Go Ethereum) and offers increased transaction and contract privacy.
 - Quorum utilizes alternative consensus mechanisms like RAFT-based Consensus (a crash fault-tolerant model) and Istanbul BFT, which allow for faster block generation and transaction finality than public, permissionless chains, making it suitable for enterprise transactions where speed is valued. Quorum is ideal for scenarios requiring known network

participants and high privacy, such as supply chain tracking or financial transactions involving sensitive information.

Regulatory and Market Maturity. The efficiency of carbon trading systems fundamentally depends on the existence of clear, enforceable standards. Historically, unregulated carbon credit systems have often been abused, necessitating tighter regulation.

- **Current Regulatory Gaps:** Despite intensive negotiations at COP28, mandatory, widely accepted regulations for carbon offsets are still lacking, meaning the market continues to operate in the “wild West”. This absence of oversight has led to many scandals, including multiple claims to protect the same forest or claims on land that was already legally protected.
- **Path Toward Integrity:** The transparency inherent in blockchain aids in auditability. Furthermore, the success of the aviation industry’s CORSIA (Carbon Offsetting and Reduction Scheme for International Aviation), which adopted "very tough guidelines" for project eligibility, demonstrates that solutions are achievable when political will and necessity align.
- **Platform Development Costs:** Building a robust blockchain-based carbon credit platform typically requires a significant financial commitment, with costs ranging from \$60,000 to over \$200,000 for advanced solutions. Development involves meticulous phases, including strategic research into standards (like Verra or Gold Standard) and technical development utilizing token standards (e.g., ERC-20, ERC-721/1155) and decentralized storage solutions like IPFS

5. Conclusion

The existing carbon credit market suffers from structural flaws related to manual inefficiency, lack of traceability, and the persistence of double-counting. Blockchain technology presents a compelling solution by establishing a decentralized, immutable, and transparent platform. By leveraging tokenization, blockchain technologically eradicates the risk of double-counting. The use of smart contracts automates verification and trading, drastically reducing administrative burden and costs, while IoT integration provides the real-time, granular data necessary for high-integrity MRV.

From funding verifiable natural climate solutions-such as those utilizing fast-growing Paulownia trees in tokenized investment models-to enabling mass public participation via "carbon coins", blockchain is transforming how climate action is financed and verified. Though regulatory clarity is still developing, the integration of robust, permissioned architectures like Quorum for enterprise applications, combined with public chains for transparency, is poised to drive the massive shift in global spending patterns required to mitigate climate change effectively.

References:

1. "Blockchain's Impact on Carbon Footprint Reduction - Redefining Climate Action." (Source provided as document excerpt).
2. "Explained: Carbon credits." MIT News, Massachusetts Institute of Technology. (February 28, 2024).
3. "GreWeCo Intro." YouTube, GreWeCo. (Video transcript detailing NFT forests and Paulownia trees).
4. "How to Develop a Blockchain-Based Carbon Credit Platform." (Published: 6 March, 2025; Updated: 1 October, 2025). (Source provided as document excerpt).
5. "Quorum Blockchain - Create on Quorum with Rejolut." (Source provided as document excerpt).
6. Kussainov, Shokan. "World Tree – Invest in Trees. Harvest Profits. Help the Planet." CarbonCredits.com. (June 17, 2025). (Disseminated on behalf of World Tree).

სტეგანოგრაფია და მისი გამოყენების პერსპექტივები ინფორმაციის დაცვაში

ბესიკ ბერიძე, მიხეილ დონაძე

ბათუმის შოთა რუსთაველის სახელმწიფო უნივერსიტეტი
b.beridze@bsu.edu.ge, mikheil.donadze@bsu.edu.ge

რეზიუმე

ნაშრომში განხილული და დახასიათებულია კომპიუტერული სტეგანოგრაფია - როგორც ინფორმაციის დაცვის კრეატიული და ერთერთი პერსპექტიული კომპონენტი თანამედროვე ციფრულ ეპოქაში. ნაშრომში აღწერილია სტეგანოგრაფიის არსი, წარმოდგენილია მისი ზოგადი დახასიათება და მოყვანილია ძირითადი ცნებები. ნაშრომი მოიცავს კომპიუტერული სტეგანოგრაფიის მეთოდების დეტალურ კლასიფიკაციასა და ანალიზს, მათ შორის ციფრული სტეგანოგრაფიის LSB, DCT და Spread Spectrum ტექნოლოგიების შედარებას. პრაქტიკულ ნაწილში წარმოდგენილია პროგრამული აპლიკაცია „BSU_Stegano_v.1“, რომელიც ვიზუალურად აჩვენებს სტეგანოგრაფიული მეთოდების მუშაობის პრინციპებს. ნაშრომი მიზნად ისახავს სტეგანოგრაფიის პერსპექტივების გააზრებას, როგორც ლეგიტიმური გამოყენების, ისე კიბერუსაფრთხოების გამოწვევების კონტექსტში, რაც ხელს უწყობს მონაცემთა უსაფრთხოების პრაქტიკის გაუმჯობესებას.

საკვანძო სიტყვები: უსაფრთხოება, ინფორმაციის დაცვა, სტეგანოგრაფია, Python

1. შესავალი.

თანამედროვე ციფრულ ეპოქაში, როდესაც ინფორმაციული ტექნოლოგიები ჩვენი ყოველდღიური ცხოვრების განუყოფელი ნაწილია, ინფორმაციის უსაფრთხოებას და კონფიდენციალურობის უზრუნველყოფას განსაკუთრებული მნიშვნელობა ენიჭება. გლობალიზაციის და ციფრული კომუნიკაციების განვითარებასთან ერთად, მატულობს კიბერდამნაშავეობის რისკები და ინფორმაციის არაავტორიზებული წვდომის საფრთხეები.

თანამედროვე ციფრულ ეპოქაში ინფორმაციის დაცვა კრიტიკულ მნიშვნელობას იძენს. ყოველდღიურად მილიარდობით მონაცემი გადაიცემა ინტერნეტის საშუალებით, დაწყებული პირადი მიმოწერებიდან, დამთავრებული კონფიდენციალური კორპორაციული ინფორმაციითა თუ სახელმწიფო საიდუმლოებებით. ამ ინფორმაციის უსაფრთხოებაზე ზრუნვა კომპლექსური ამოცანაა, რომელიც მოიცავს მონაცემთა მთლიანობას, კონფიდენციალურობასა და ხელმისაწვდომობას. ტრადიციული დაცვის მეთოდები, როგორცაა კრიპტოგრაფია, მიზნად ისახავს ინფორმაციის შინაარსის გაშიფვრას, შეუძლებელი გახადოს არაავტორიზებული პირებისთვის. თუმცა, კრიპტოგრაფიული მეთოდები, მიუხედავად მათი სიმძლავრისა, მაინც ტოვებს კვალს - დაშიფრული შეტყობინების არსებობა თავისთავად იწვევს ეჭვს და შეიძლება მიიქციოს თავდამსხმელის ყურადღება. სწორედ აქ შემოდის თამაშში სტეგანოგრაფია, რომელიც ინფორმაციის დაფარვის ხელოვნებასა და მეცნიერებას წარმოადგენს, ისე რომ მისი არსებობა არ იყოს აშკარა გარე დამკვირვებლისთვის [1].

21-ე საუკუნეში, ციფრული მედიის ფართო გავრცელების ფონზე - სურათები, ვიდეო ფაილები, აუდიო ჩანაწერები და ტექსტური დოკუმენტები - სტეგანოგრაფიული ტექნიკების

გამოყენების შესაძლებლობები მნიშვნელოვნად გაფართოვდა. მალტიმედია ფაილების მასობრივი გამოყენება ინტერნეტ სივრცეში ქმნის იდეალურ გარემოს ფარული კომუნიკაციისთვის.

თანამედროვე კომპიუტერული ტექნოლოგიების ლანდშაფტში, სადაც კორპორაციული და სახელმწიფო დონეზე ინფორმაციის გაქონვა სერიოზულ ეკონომიკურ და რეპუტაციულ ზარალს იწვევს, სტეგანოგრაფია წარმოადგენს ინფორმაციის დაცვის ინოვაციურ მექანიზმს. განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია მისი როლი სენსიტიური ინფორმაციის ტრანსმისიის დროს, რომელიც მოითხოვს მაქსიმალურ კონფიდენციალურობას.

ხელოვნური ინტელექტის და მანქანური სწავლების ტექნოლოგიების განვითარება ახალ შესაძლებლობებს ქმნის როგორც სტეგანოგრაფიული მეთოდების გაუმჯობესებისთვის, ისე მათი გამოვლენისთვის. ეს ტენდენცია აქტუალურს ხდის სფეროს კვლევის გაღრმავებას და ახალი ხერხების შემუშავებას.

მიუხედავად იმისა, რომ კრიპტოგრაფია წარმატებით იცავს მონაცემთა შინაარსს, იგი ვერ მალავს კომუნიკაციის ფაქტს. სტეგანოგრაფია ამ მიმართულებით სრულიად განსხვავებულ შესაძლებლობას იძლევა: მისი მეშვეობით შესაძლებელია ინფორმაციის გადაცემა ისე, რომ მისი არსებობა შეუმჩნეველი დარჩეს. თანამედროვე რეალობაში, როდესაც მონაცემთა დაცვა ერთ-ერთი მთავარი პრიორიტეტია, როგორც სახელმწიფო, ისე კერძო სექტორისთვის, სტეგანოგრაფიის კვლევა და პრაქტიკული გამოყენება განსაკუთრებით აქტუალურია [1,2].

2. ძირითადი ნაწილი

როგორც შესავალში აღვნიშნეთ სტეგანოგრაფია - ეს არის კავშირის (შეტყობინებების გადაცემის) ორგანიზების მეთოდი, რომლის მიზანია არის თვითონ კავშირის არსებობის დაფარვა. კრიპტოგრაფიისგან განსხვავებით, სადაც მხარეს ზუსტად შეუძლია განსაზღვროს, არის თუ არა გადაცემული ინფორმაცია დაშიფრული ტექსტი, სტეგანოგრაფიის მეთოდები საშუალებას იძლევა საიდუმლო შეტყობინებები ჩაშენდეს ღია მესიჯებში ისე, რომ შეუძლებელი გახდეს მათი არსებობის ეჭვიც კი.

გამოთვლითი ტექნიკის და ინფორმაციის გადაცემის ახალი არხების განვითარებამ წარმოშვა სტეგანოგრაფიის ახალი მეთოდები, რომლებიც ეფუძნება ინფორმაციის წარმოდგენის თავისებურებებს კომპიუტერულ ფაილებში, გამოთვლით ქსელებში და სხვ. ამ მიმართულებას კომპიუტერული სტეგანოგრაფია წარმოადგენს [3].

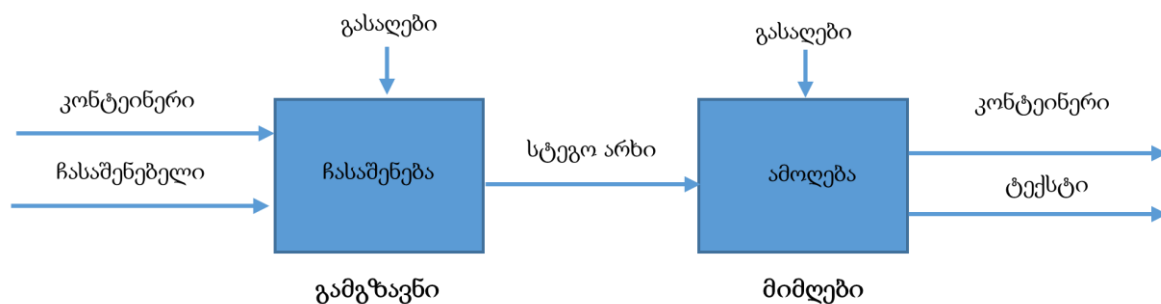
კომპიუტერული სტეგანოგრაფია ორი ძირითადი პრინციპის საფუძველზე მოქმედებს:

1. ფაილები, რომლებიც შეიცავენ ციფრულ გამოსახულებას ან ხმას, გარკვეულ დრომდე შეიძლება შეიცვალოს ფუნქციური დანიშნულების დაკარგვის გარეშე, განსხვავებით სხვა ტიპის მონაცემებისა, რომლებიც აბსოლუტურ სიზუსტეს საჭიროებენ.
2. ადამიანის გრძნობითი ორგანოები ვერ ამჩნევენ უმნიშვნელო ცვლილებებს გამოსახულების ფერში ან ხმის ხარისხში. ეს პრინციპი განსაკუთრებით ეფექტურია იმ გამოსახულების ან ხმის შემთხვევაში, რომელიც შეიცავს ზედმეტ (redundant) ინფორმაციას.

იმის გამო, რომ კომპიუტერული სტეგანოგრაფია არის ინფორმაციის დაცვის შედარებით ახალი სფერო და აქამდე არ არსებობდა ერთიანი ტერმინოლოგია, მეცნიერების მიერ შემოთავაზებულ იქნა ტერმინების სისტემატიზაცია. სტეგანოგრაფიული სისტემა ანუ სტეგოსისტემა, რომელიც წარმოადგენს იმ საშუალებებისა და მეთოდების ერთობლიობას, რომლებიც გამოიყენება ფარული საკომუნიკაციო არხის შესაქმნელად. სტეგოსისტემის აგებისას უნდა გათვალისწინებულ იქნას შემდეგი პირობები [1,3]:

- დამალვის მეთოდებმა უნდა უზრუნველყოს იმ ინფორმაციის ავთენტურობა და მთლიანობა, რომელშიც შეტყობინება იმალება;
- მოწინააღმდეგემ შეიძლება სრულად იცოდეს სტეგანოგრაფიული სისტემა და მისი დეტალები. ერთადერთი, რაც მისთვის უცნობია, არის საკვანძო ინფორმაცია (key), რომლის მეშვეობითაც მხოლოდ მფლობელს შეუძლია ფარული შეტყობინების არსებობისა და შინაარსის დადგენა;
- თუკი მოწინააღმდეგეს როგორც არ უნდა იყოს, შეეტყო ფარული შეტყობინების არსებობა, ეს არ უნდა აძლევდეს მას საშუალებას, ამოიღოს ფარული ინფორმაცია სხვა მონაცემებიდან მანამ, სანამ კლავიში დაცულია საიდუმლოდ;
- პოტენციური მოწინააღმდეგე უნდა იყოს მოკლებული ნებისმიერ ტექნიკურ თუ სხვა უპირატესობას ფარული შეტყობინებების ამოცნობასა და გაშიფვრაში.

სტეგოსისტემის სტრუქტურული სქემა (იხილეთ. სურ. 1).



სურ. 1 სტეგანოგრაფიის სტრუქტურული სქემა

საიდუმლო გასაღების მქონე სტეგოსისტემაში გამოიყენება ერთი გასაღები, რომელიც ან წინასწარ უნდა იყოს განსაზღვრული, ან უნდა გადაეცეს დაცული არხით. ღია გასაღების მქონე სტეგოსისტემაში შეტყობინების ჩასაშენებლად და ამოსაღებად გამოიყენება სხვადასხვა გასაღებები, რომელთა შორის კავშირის დადგენა გამოთვლითაც შეუძლებელია. ამგვარად, ღია გასაღების თავისუფლად გადაცემა შესაძლებელი ხდება დაუცველი არხის მეშვეობით.

სტეგანოგრაფიის მეთოდებს შორის ყველაზე გავრცელებულია სამი მეთოდი, ესენა: LSB (ყველაზე ნაკლებად მნიშვნელოვანი ბიტი), DCT (დისკრეტული კოსინუსური ტრანსფორმაცია) და Spread Spectrum (გაშლილი სპექტრი). სამივე მეთოდი არის ციფრული სტეგანოგრაფიის საშუალებების. ისინი შექმნილია ციფრული მედიისთვის და მუშაობს კომპიუტერული ალგორითმების საშუალებით. თითოეულ მათგანს აქვს თავისი უპირატესობები და ნაკლოვანებები, რაც განსაზღვრავს მათ გამოყენების სფეროებს [6,7].

სტეგანოგრაფიის ტექნოლოგიის არჩევა დამოკიდებულია კონკრეტულ მოთხოვნებზე, როგორიცაა მონაცემთა ტევადობა, უსაფრთხოების დონე და მდგრადობა შეტევების მიმართ. დასკვნის სახით შეიძლება ითქვას, რომ LSB საუკეთესოა მაშინ, როდესაც საჭიროა დიდი რაოდენობით მონაცემების სწრაფად დამალვა და არ არის მაღალი მოთხოვნები სიმყარეზე (მაგალითად, მოკლე ვადით გადაცემა მეგობრებს შორის). DCT უზრუნველყოფს უკეთეს ბალანსს ტევადობასა და სიმყარეს შორის, განსაკუთრებით JPEG გამოსახულებების შემთხვევაში. ის ხშირად გამოიყენება წყლის ნიშნების (watermarking) დასამატებლად. Spread Spectrum არის ყველაზე ძლიერი და უსაფრთხო მეთოდი, რომელიც უზრუნველყოფს მაქსიმალურ სიმყარეს სხვადასხვა სახის შეტევების მიმართ, თუმცა მონაცემთა დაბალი

ტევადობით. ის იდეალურია აპლიკაციებისთვის, სადაც ინფორმაციის დამალვის ფაქტი თავისთავად უნდა დარჩეს საიდუმლოდ და უსაფრთხოება უმთავრესია [6,7].

თანამედროვე სტეგანოგრაფიაში ხშირად გამოიყენება ამ მეთოდების კომბინაციები, რათა გაუმჯობესდეს როგორც სიმტკიცე, ასევე მონაცემთა ტევადობა და შეუმჩნევადობა. ნაშრომში განხილული მიდგომების გათვალისწინებით Python-ის პლატფორმაზე რეალიზებული იქნა პროგრამული აპლიკაცია „BSU_Stegano_v.1“. აპლიკაცია შეიქმნა ნაშრომში განხილული სტეგანოგრაფიული და კრიპტოგრაფიული მეთოდების და ალგორითმების კომბინაციით, ანუ შემოთავაზებულია ჰიბრიდული მიდგომა. პროგრამა იყენებს LSB (Least Significant Bit) სტეგანოგრაფიას, საიდუმლო ტექსტის სურათში დამალვისთვის და Fernet შიფრაციას უშუალოდ ტექსტის დამიფვრისათვის.

იმპლემენტაციის პროცესში გამოყენებული იქნა Python-ის ძირითადი ბიბლიოთეკები:

ბიბლიოთეკა	დანიშნულება
PyQt6	მომხმარებლის გრაფიკული ინტერფეისის შესაქმნელად
stepic	ტექსტის სტეგანოგრაფიული დამალვა გამოსახულებაში
Pillow (PIL)	გამოსახულებების ჩატვირთვა, შენახვა და რედაქტირება
cryptography.fernet	ტექსტის უსაფრთხო დამიფვრა და გაშიფვრა
codecs, os, sys	სისტემური ოპერაციები და ფაილური მენეჯმენტი

ცხრილი 1. აპლიკაციაში გამოყენებული Python-ის ბიბლიოთეკები

ეს ბიბლიოთეკები დაფუძნებულია ღია კოდზე და pip ინსტრუმენტი საშუალებას გაძლევს აღნიშნული პაკეტები (ბიბლიოთეკები) ადვილად დავაინსტალიროთ, განვაახლოთ ან წავშალოთ.

კრიპტოგრაფიული გასაღების ავტომატური დაგენერირება ჩვენს მიერ შემუშავებული მეთოდის საშუალებით.

პროექტის რეალიზაციისათვის საჭიროა სისტემის მოთხოვნები: Python 3.7 ან უფრო მაღალი ვერსია, Windows/Linux/macOS მხარდაჭერა, მეხსიერება მინიმუმ 4GB RAM და 100MB თავისუფალი ადგილი დისკზე.

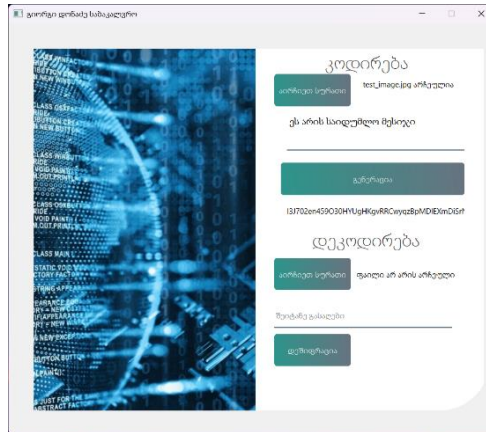
სისტემა შემუშავებულია მოდულური პრინციპებით და შედგება შემდეგი ძირითადი კომპონენტისგან:

- main.py – პროგრამის შესასვლელი ფაილი, რომელიც აერთიანებს UI-სა და ფუნქციურობას.
- stegano_encryptor.py – პასუხისმგებელია კოდირებაზე (დამიფვრა და სტეგანოგრაფია).
- stegano_decryptor.py – პასუხისმგებელია გაშიფვრაზე (სტეგანოგრაფიიდან ამოღება და გაშიფვრა).

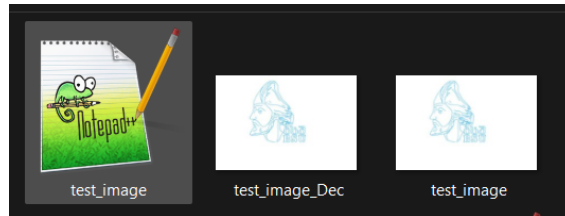
ენკოდინგის მოდული შედგება შემდეგი კომპონენტებისაგან: გრაფიკული ინტერფეისი საიდუმლო ტექსტის შესაყვანად, სურათის ფაილის არჩევის ფუნქციონალი, კრიპტოგრაფიული გასაღების გენერაცია, სტეგანოგრაფიული ენკოდინგი.

დეკოდინგის მოდული აერთიანებს შემდეგ კომპონენტებს: შიფრაციული გასაღების შეყვანის ინტერფეისი, სტეგანო-სურათის არჩევის ფუნქციონალი, ტექსტის აღდგენა და დემიფრაცია.

როგორ მუშაობს სისტემა. ვპროგრამის ინტერფეისი მარტივი და მოსახერხებელია. მომხმარებელი ირჩევს სასურველ სურათს (test_image.jpg), შესაბამის ვლში შეგვყავს ტექსტი "ეს არის საიდუმლო მესიჯი", შემდეგ დავაჭიროთ ღილაკს "გენერაცია".

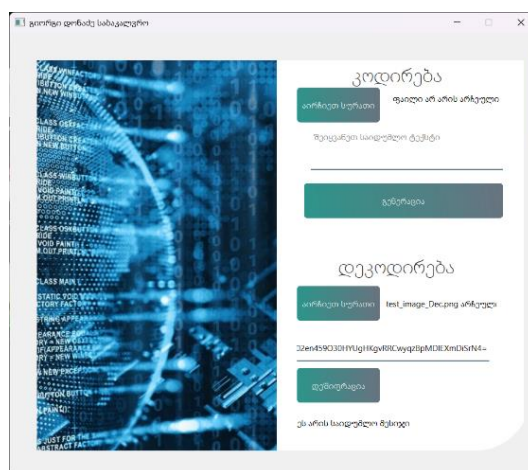


სურ. 2 სტეგანოგრაფიული ენკოდინგი - პროგრამის ძირითადი სამუშაო ფანჯარა
პროგრამა შექმნის ორ ფაილს test_image_Dec.png და test_image.txt



სურ. 3 სტეგანოგრაფიული ენკოდინგის შედეგი
სურათში დაშიფრული საიდუმლო ტექსტის წაკითხვა/აღდგენა.

1. ავირჩიეთ ენკოდირებული სურათი
2. შევიყვანეთ გასაღები
3. დავაჭიროთ "დეშიფრაცია" ღილაკს



სურ. 4 შედეგი: თავდაპირველი ტექსტი აღდგა

განვიხილოთ სისტემის უსაფრთხოების ანალიზი, პროგრამული პაკეტი აერთიანებს როგორც სტეგანოგრაფიული ასევე კრიპტოგრაფიული უსაფრთხოების მეთოდებს და ალგორითმებს.

სტეგანოგრაფიული უსაფრთხოება იყენებს **LSB** მეთოდის პრინციპს, რაც უზრუნველყოფს შემდეგ ბენეფიტებს:

- მონაცემების დამალვა უმნიშვნელო ბიტებში
- არ შეიმჩნევა ვიზუალური ცვლილებები
- სტატისტიკური ანალიზი რთულია

კრიპტოგრაფიული უსაფრთხოება იყენებს **Fernet** სიმეტრიული შიფრაციის მეთოდს, რომელიც შედის Python-ის cryptography ბიბლიოთეკაში. იგი არის უსაფრთხო და მარტივი გზა მონაცემების დაშიფვრისა და გაშიფვრისთვის. Fernet იდეალურია მონაცემების, ფაილების, პაროლების დაშიფვრისთვის, რადგან უზრუნველყოფს მაღალ უსაფრთხოებას და ადვილია გამოსაყენებელი. კვლევის სიახლეა Fernet შიფრაციის ჩვენს მიერ შერჩეული მახასიათებლები:

- AES 128-bit ენკრიფცია CBC რეჟიმში
- ჩაშენებული authentication (HMAC) - ამოწმებს მონაცემების მთლიანობას
- გასაღების მდგრადობა - 256-bit
- შიფრაციის ტიპი - სიმეტრიული შიფრაცია

პროგრამის ბენეფიტები და უპირატესობა მსგავსი პროდუქტებისგან განსხვავებით არის:

- ყოველ ახალ ენკოდინგზე გენერირდება ახალი გასაღები
- ტექსტი ჯერ იშიფრება და შემდეგ იმალება გრაფიკულ ფაილში
- წყარო ფაილი უცვლელი რჩება, არ ხდება მისი დაზიანება (დამახინჯება)

დაშიფვრა: Fernet ბიბლიოთეკა აკმაყოფილებს თანამედროვე უსაფრთხოების სტანდარტებს (AES-128 CBC + SHA256 HMAC).

სტეგანოგრაფია: ვიზუალურად ვერ შეიმჩნევა ცვლილება, ასევე მავნე სუბიექტისთვის PNG ფაილის ბიტური ანალიზი შეუძლებელია.

პროგრამას აქვს მცირე შეზღუდვა, იგი მუშაობს მხოლოდ PNG/JPG ფორმატების გრაფიკულ ფაილებთან და არ აქვს სხვა ტიპის ფაილების მხარდაჭერა. სამომავლოდ რეკომენდებულია გაუჯობესება, რომ შესაძლებელი იყოს მეტი, განსხვავებული ფორმატის ფაილის ფორმატის მხარდაჭერა, „ბენჩმარკინგი“ - პროცესის ანალიზი სხვადასხვა ტიპის ფაილებისთვის და QR კოდის მხარდაჭერა გასაღებისთვის.

პროგრამამ გაიარა შემდეგი ტიპის ტესტირება:

ტესტი	აღწერა	სტატუსი
სწორი დაშიფვრა-გაშიფვრა	ტექსტი სრულად აღდგენილი	☑
არასწორი გასაღები	გაშიფვრა უარყოფილია	☑
დიდი ტექსტი	შეტყობინება შეზღუდვის შესახებ	☑
არასწორი გამოსახულება	შეცდომის დაფიქსირება	☑
გამოსახულების გარეგნული კონტროლი	უცვლელი ვიზუალი	☑

3. დასკვნა

ნაშრომი მიზნად ისახავდა ინფორმაციის დაცვაში სტეგანოგრაფიის პერსპექტივების განხილვას, მისი არსიდან და ზოგადი დახასიათებიდან დაწყებული, თანამედროვე მეთოდებისა და ტექნოლოგიების შედარებითი და ანალიზით დამთავრებული. შესრულებული კვლევის ფარგლებში, დეტალურად იქნა გაანალიზებული ციფრული სტეგანოგრაფიის ძირითადი ცნებები, მისი მეთოდების კლასიფიკაცია და თითოეული მათგანის სპეციფიკა.

კვლევა ადასტურებს, რომ სტეგანოგრაფია რჩება ინფორმაციის დაცვის აქტუალურ და მზარდ მიმართულებად. მიუხედავად იმისა, რომ იგი შეიძლება გამოყენებულ იქნას როგორც ლეგიტიმური მიზნებისთვის (მაგალითად, ინტელექტუალური საკუთრების დაცვა, ცენზურის გვერდის ავლა), ის ასევე წარმოადგენს საფრთხეს კიბერუსაფრთხოებისთვის (მაგალითად, მავნე პროგრამების დამალვა). შესაბამისად, სტეგანოგრაფიის პრინციპების, მეთოდებისა და ტექნოლოგიების სიღრმისეული გაგება კრიტიკულია, როგორც მონაცემთა უსაფრთხოების სპეციალისტებისთვის, ისე ზოგადად ციფრული სამყაროს მომხმარებლებისთვის. ნაშრომში წარმოდგენილი კვლევა ხელს უწყობს ამ სფეროს უკეთ გააზრებასა და პოტენციური საფრთხეების დროულად იდენტიფიცირებასა და მათზე რეაგირებას.

გამოყენებული ლიტერატურა:

1. Hassaballah, M., & Ali, A. A. (2020). Digital Media Steganography: Principles, Algorithms, and Advances. Academic Press
2. Wayner, P. (2008). Disappearing Cryptography: Information Hiding: Steganography and Watermarking (3rd ed.). Publisher Morgan Kaufmann
3. Fridrich, J. (2009). Steganography in Digital Media: Principles, Algorithms, and Applications. Cambridge University Press.
4. Zhang, X., & Wang, S. (2006). Efficient Steganographic Embedding by Exploiting Modification Direction. IEEE Communications Letters, 10(11), 781-783
5. Holub, V., & Fridrich, J. (2012). Designing Steganographic Distortion Using Directional Filters. IEEE Workshop on Information Forensics and Security (WIFS), 234-239
6. Luo, W., Huang, F., & Huang, J. (2010). Edge Adaptive Image Steganography Based on LSB Matching Revisited. IEEE Transactions on Information Forensics and Security, 5(2), 201-214.
7. Subramanian, N., Elharrouss, O., Al-Maadeed, S., & Bouridane, A. (2021). Image Steganography: A Review of the Recent Advances. IEEE Access, 9, 23409-23423.

Steganography and its application prospects in information protection

Besik Beridze, Mikheil Donadze

Batumi Shota Rustaveli State University

b.beridze@bsu.edu.ge, mikheil.donadze@bsu.edu.ge

Abstract

The paper discusses and characterizes computer steganography - as a creative and one of the promising components of information protection in the modern digital era. The paper describes the essence of steganography, provides its general characterization and presents the main concepts. The paper includes a detailed classification and analysis of computer steganography methods, including a comparison of digital steganography technologies LSB, DCT and Spread Spectrum. The practical part presents the software application "BSU_Stegano_v.1", which visually demonstrates the principles of steganographic methods. The paper aims to understand the perspectives of steganography, both in the context of legitimate uses and cybersecurity challenges, which contributes to improving data security practices.

Keywords: Security, Information Protection, Steganography, Python

აკადემიური საზოგადოების როლი კიბერუსაფრთხოების ცნობიერების ამაღლებაში

ავთანდილ ბიჩნიგაური¹, იოსებ ქართველიშვილი¹, ზებურ ბერიძე²

¹საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი,

²ბათუმის შოთა რუსთაველის სახელმწიფო უნივერსიტეტი

bichnigauri_av@gtu.ge, s.kartvelishvili@gtu.ge, zazaber2020@gmail.com

რეზიუმე

კიბერუსაფრთხოება თანამედროვე ციფრულ ეპოქაში ერთ-ერთი ყველაზე მნიშვნელოვანი გამოწვევაა, რომელიც ეხება როგორც ინდივიდებს, ისე სახელმწიფოებსა და საერთაშორისო ორგანიზაციებს. მოცემულ სტატიაში განხილულია აკადემიური საზოგადოების – კერძოდ, ლექტორებისა და სტუდენტების – კრიტიკული როლი კიბერუსაფრთხოების ცნობიერების ამაღლების პროცესში. კვლევის საფუძველზე დასკვნა გაკეთდა, რომ აკადემიური საზოგადოების აქტიური ჩართულობა უზრუნველყოფს ცოდნის გავრცელებას, კიბერჰიგიენის კულტურის გაძლიერებას და ქვეყნის კიბერმდებლობის ზრდას. სტატიაში გამოვლინდა ინსტიტუციური მექანიზმები, რომლებიც ხელს უწყობენ უსაფრთხო ციფრული გარემოს ჩამოყალიბებას, და შემოთავაზებულია კოლაბორაციული მოდელი ლექტორებისა და სტუდენტების ურთიერთთანამშრომლობისთვის.

საკვანძო სიტყვები: კიბერუსაფრთხოება, აკადემიური საზოგადოება, ცნობიერება, კიბერჰიგიენა, პედაგოგიკა, სასწავლო პროგრამა, CTF ღონისძიებები, ფიშინგი, კოლაბორაცია.

1. შესავალი.

თანამედროვე ციფრულ სამყაროში კიბერუსაფრთხოება ეროვნული და გლობალური უსაფრთხოების ერთ-ერთ მთავარ გამოწვევად იქცა. კიბერშეტევების მასშტაბები და სიხშირე განუწყვეტლივ იზრდება, რაც საფრთხეს უქმნის კრიტიკულ ინფრასტრუქტურას, ბიზნესს და პირად მონაცემთა კონფიდენციალურობას. ამ პირობებში, მხოლოდ ტექნიკური გადაწყვეტილებები არასაკმარისია, აუცილებელია ცნობიერების ამაღლება და კიბერჰიგიენის კულტურის ჩამოყალიბება.

აკადემიური საზოგადოება, როგორც ცოდნის გენერატორი და გადამცემი, ამ პროცესში გადამწყვეტ როლს ასრულებს. უნივერსიტეტები და სასწავლო დაწესებულებები წარმოადგენენ იმ სივრცეებს, სადაც ყალიბდებიან მომავალი სპეციალისტები და მიმდინარეობს სამეცნიერო კვლევები. ლექტორებისა და სტუდენტების აქტიური ჩართულობა უზრუნველყოფს არა მხოლოდ სპეციალისტების მომზადებას, არამედ ცოდნის გავრცელებას უფრო ფართო საზოგადოებაში.

კვლევის მიზანია ლექტორებისა და სტუდენტების ჩართულობის ანალიზი კიბერუსაფრთხოების ცნობიერების ამაღლების პროცესში და იმ ინსტიტუციური მექანიზმების გამოვლენა, რომლებიც უზრუნველყოფენ უსაფრთხო ციფრული გარემოს ჩამოყალიბებას.

2. მეთოდოლოგია.

კვლევა ეფუძნება შემდეგ მეთოდოლოგიურ მიდგომებს:

1. **ლიტერატურის ანალიზი:** გაანალიზებულია სამეცნიერო ნაშრომები, სტატიები და შემაჯამებელი ანგარიშები, რომლებიც ეხება კიბერუსაფრთხოების პედაგოგიკას, საზოგადოებრივ ცნობიერებას და აკადემიური საზოგადოების როლს.

2. **საქმის შესწავლა (Case Study):** შესწავლილი იქნა რამდენიმე უნივერსიტეტის გამოცდილება, სადაც წარმატებითაა დანერგილი კიბერუსაფრთხოების საგანმანათლებლო პროგრამები და სტუდენტური ინიციატივები.
3. **პრაქტიკული ინსტრუმენტების ანალიზი:** განხილულია კონკრეტული პრაქტიკული ინსტრუმენტები, როგორიცაა ფიშინგის სიმულაციები, CTF (Capture The Flag) შეჯიბრებები, ჰაკათონები და კიბერუსაფრთხოების სასწავლო მოდულები.

3. მსჯელობა.

1. კიბერუსაფრთხოება, როგორც პედაგოგიური და სოციალური პროცესი

ტრადიციულად, კიბერუსაფრთხოება განიხილებოდა, როგორც ტექნიკური დისციპლინა. თუმცა, თანამედროვე გაგებით, ის უფრო ფართო პედაგოგიური და სოციალური პროცესია. ეფექტური კიბერუსაფრთხოება მოითხოვს არა მხოლოდ ტექნიკურ უნარებს, არამედ ქცევით ცვლილებებს და კრიტიკულ აზროვნებას. აკადემიური საზოგადოება სწორედ ის პლატფორმაა, სადაც შესაძლებელია ამ ცვლილებების განხორციელება. ლექტორებს შეუძლიათ შეიმუშაონ პედაგოგიური მიდგომები, რომლებიც ხელს შეუწყობენ სტუდენტებში პასუხისმგებლიანი ციფრული ქცევის ჩამოყალიბებას.

2. ლექტორებისა და სტუდენტების კოლაბორაციული მოდელი

კვლევა ასკვნის, რომ ყველაზე ეფექტური მიდგომაა ლექტორებისა და სტუდენტების კოლაბორაციული მოდელის დანერგვა. ეს მოდელი გულისხმობს:

- **ლექტორების როლი:** ლექტორები არიან მენტორები და ცოდნის წყარო. მათი მოვალეობაა კიბერუსაფრთხოების პრინციპების ინტეგრაცია სხვადასხვა საგნების სასწავლო პროგრამებში, არა მხოლოდ ტექნიკურ დისციპლინებში. მაგალითად, იურიდიულ საგნებში შესაძლებელია კიბერკრიმინალის საკითხების განხილვა, ხოლო ბიზნეს-ადმინისტრირებაში – რისკების მენეჯმენტის.
- **სტუდენტების როლი:** სტუდენტები არიან არა მხოლოდ პასიური მსმენელები, არამედ აქტიური მონაწილეები. მათ შეუძლიათ ჩამოაყალიბონ სტუდენტური კლუბები, ორგანიზება გაუწიონ CTF შეჯიბრებებს და ჰაკათონებს, რაც ხელს უწყობს პრაქტიკული უნარების განვითარებას და თანატოლებს შორის ცოდნის გაზიარებას.

ეს თანამშრომლობა ქმნის დინამიკურ გარემოს, სადაც თეორიული ცოდნა პრაქტიკულ გამოცდილებას ემატება.

3. აკადემიური ჩართულობის გავლენა საზოგადოებრივ ცნობიერებაზე

აკადემიური საზოგადოების გავლენა არ შემოიფარგლება უნივერსიტეტის კედლებით. სტუდენტები და ლექტორები არიან საზოგადოების განუყოფელი ნაწილი. მათ მიერ მიღებული ცოდნა და ჩამოყალიბებული უნარები ნაკადად ვრცელდება ოჯახებში, მეგობრების წრეში და სამუშაო გარემოში. ლექტორები, როგორც ექსპერტები, მონაწილეობენ საზოგადოებრივ ლექციებში, კონსულტაციებში და მედიაში, რითიც ხელს უწყობენ ფართო საზოგადოების ინფორმირებას. ამრიგად, აკადემიური საზოგადოება ასრულებს "მულტიპლიკატორის" როლს კიბერუსაფრთხოების ცოდნის გავრცელებაში.

4. შედეგები.

კვლევისა და პრაქტიკული გამოცდილების ანალიზის საფუძველზე, შემდეგი შედეგები იქნა მიღებული:

1. **კვლევითი შედეგები:** ჩატარებული გამოკითხვები აჩვენებს, რომ საგანმანათლებლო დაწესებულებებში, სადაც კიბერუსაფრთხოების თემები ინტეგრირებულია სასწავლო

- პროგრამაში, სტუდენტებს შორის ცნობიერების დონე მნიშვნელოვნად მაღალია. მაგალითად, ფიშინგის სიმულაციის ჩატარების შემდეგ, მონაწილე სტუდენტებმა დაიწყეს უფრო ფრთხილად მიუდგნენ ელექტრონული ფოსტის გახსნას და საეჭვო ბმულებზე დაწკაპუნებას.
2. **სასწავლო მოდულების ეფექტურობა:** კიბერჰიგიენის სასწავლო მოდულები, რომლებიც მოიცავს პაროლების მენეჯმენტს, ორფაქტორიან აუთენტიფიკაციას და სოციალური ინჟინერიისგან თავდაცვას, პრაქტიკულად ეფექტური აღმოჩნდა სტუდენტების ყოველდღიურ ციფრულ ცხოვრებაში.
 3. **პრაქტიკული ღონისძიებების წარმატება:** CTF შეჯიბრებებმა და ჰაკათონებმა აჩვენა, რომ ისინი არა მხოლოდ ავითარებენ პრაქტიკულ უნარებს, არამედ აღძრავენ სტუდენტების ინტერესს კიბერუსაფრთხოების სფეროსთან მიმართებაში და ხელს უწყობენ გუნდური მუშაობის განვითარებას.
 4. **ლექტორების პროფესიული განვითარება:** ლექტორების მიერ რეალური ქეისების ანალიზი და სპეციალიზებულ სემინარებში მონაწილეობა ხელს უწყობს მათი კვალიფიკაციის ამაღლებას, რაც პირდაპირ აისახება სასწავლო პროცესის ხარისხზე.
 5. **ინსტიტუციური თანამშრომლობა:** დადგინდა, რომ აკადემიის, ინდუსტრიის და სახელმწიფო ორგანოების (მაგ., კიბერუსაფრთხოების ცენტრების) თანამშრომლობა ქმნის მდგრად ეკოსისტემას, რომელიც უზრუნველყოფს რესურსებს, აქტუალურ ინფორმაციას და სტაჟირების შესაძლებლობებს.

5. დასკვნა.

აკადემიური საზოგადოების ჩართულობა კრიტიკული ფაქტორია კიბერუსაფრთხოების ცნობიერების ამაღლებისთვის. ლექტორებისა და სტუდენტების ერთობლივი ძალისხმევა ქმნის მდგრად და დაცულ ციფრულ ეკოსისტემას. მათი როლი სტრატეგიულია და ღრმა გავლენა აქვს როგორც საგანმანათლებლო სისტემის შიგნით, ასევე მის ფარგლებს გარეთ, ფორმირდება საზოგადოებრივი აზროვნება და ქცევა ციფრულ სივრცეში.

კვლევამ აჩვენა, რომ კიბერუსაფრთხოება უნდა განიხილებოდეს როგორც მულტიდის-ციპლინარული და სოციალურ-პედაგოგიური საკითხი. კოლაბორაციული მოდელი, რომელიც აერთიანებს ლექტორების მენტორულ როლს და სტუდენტების აქტიურ ინიციატივას, არის ყველაზე პერსპექტიული გზა კიბერჰიგიენის კულტურის ჩამოყალიბებისთვის.

პირველ რიგში, დადასტურდა, რომ კიბერუსაფრთხოების გაგება, როგორც ტექნიკური დისციპლინისა, არასაკმარისი და მომველბულია. ეფექტურობის მისაღწევად აუცილებელია მისი პედაგოგიური და სოციალური კომპონენტების აღიარება. ეს ნიშნავს, რომ უნივერსიტეტებმა უნდა განიხილონ კიბერუსაფრთხოება, როგორც ცოდნისა და უნარების ერთობლიობა, რომელიც ინტეგრირებული უნდა იყოს სხვადასხვა საგნობრივ კურსებში – იურის-პრუდენციიდან ბიზნეს-მენეჯმენტამდე და სოციოლოგიიდან ჟურნალისტიკამდე. მხოლოდ ამ გზით შეიძლება ჩამოყალიბდეს ყოვლისმომცველი, კრიტიკული აზროვნება, რომელიც აუცილებელია თანამედროვე დაუცველობების გასაგებად და მათ წინააღმდეგ ბრძოლაში.

მეორეც, კვლევამ მკაფიოდ გამოხატა ლექტორებისა და სტუდენტების კოლაბორაციული მოდელის ეფექტურობა. ლექტორები, როგორც მენტორები და ექსპერტები, უზრუნველყოფენ თეორიულ ბაზას, მეთოდოლოგიურ მხარდაჭერას და რეალური მსოფლიოს შემთხვევების ანალიზს, ხოლო სტუდენტები სტუდენტური კლუბების, CTF შეჯიბრებებისა და ჰაკათონების მეშვეობით ავრცელებენ ცოდნას თანატოლებს შორის, ქმნიან ინოვაციურ გადაწყვეტილებებს

და ამლიერებენ საზოგადოების ჩართულობას. ეს ორმხრივი პროცესი ქმნის დინამიკურ და მდგრად გარემოს, სადაც თეორია და პრაქტიკა ერთმანეთს ავსებს.

მესამე, აკადემიური საზოგადოების გავლენა მნიშვნელოვნად სცილდება უნივერსიტეტის კედლებს. სტუდენტები და ლექტორები არიან „ცოდნის მულტიპლიკატორები“. მათ მიერ შეძენილი ცოდნა და უნარები ნაკადად ვრცელდება ოჯახებში, მეგობრების წრეში და, საბოლოოდ, სამუშაო ადგილებზე. ლექტორები, საჯარო ლექციების, მედიასივრცეში გამოსვლების და საზოგადოებასთან თანამშრომლობის მეშვეობით, ხელს უწყობენ ფართო საზოგადოებას კიბერსაფრთხეებისგან თავდაცვაში. ამრიგად, ინვესტიცია აკადემიურ გარემოში იწვევს მულტიპლიკაციურ ეფექტს და ხელს უწყობს მთელი ქვეყნის ცნობიერების ამაღლებას კიბერუსაფრთხოებაში.

სამომავლოდ, ამ პოზიტიური ტენდენციების გასაძლიერებლად აუცილებელია რამდენიმე სტრატეგიული ნაბიჯის გადადგმა:

- **საგანმანათლებლო პოლიტიკის რეფორმა:** კიბერუსაფრთხოება უნდა იქცეს ძირითად კომპეტენციად ყველა საგანმანათლებლო დონეზე, ხოლო უმაღლეს განათლებაში – სავალდებულო მოდულად ან საბაზისო კურსად ყველა სპეციალობისთვის.
- **ლექტორთა განუწყვეტელი პროფესიული განვითარება:** უნდა შეიქმნას სისტემატური პროგრამები ლექტორთა კვალიფიკაციის ასამაღლებლად, მათ შორის სერტიფიცირებული კურსები, სემინარები ინდუსტრიის ექსპერტებთან თანამშრომლობით და მოწინავე სასწავლო მეთოდების დანერგვა.
- **ინფრასტრუქტურული მხარდაჭერა სტუდენტური ინიციატივებისთვის:** უნივერსიტეტმა უნდა უზრუნველყონ ფინანსური, ტექნიკური და ადმინისტრაციული რესურსები სტუდენტური კიბერუსაფრთხოების კლუბებისთვის, ლაბორატორიებისთვის და ღონისძიებებისთვის, რაც ხელს შეუწყობს პრაქტიკული გამოცდილების მიღებას და ინოვაციების წახალისებას.
- **ე.წ. „სამმაგი სპირალის“ მოდელის გაძლიერება:** აკადემიური საზოგადოების, ბიზნეს სექტორის და სახელმწიფო ორგანოების თანამშრომლობა უნდა გახდეს სისტემატური და სტრუქტურირებული. ეს მოიცავს ერთობლივ კვლევით პროექტებს, სტაჟირების პროგრამებს, კონსულტაციებს და ერთობლივი სტანდარტებისა და რეკომენდაციების შემუშავებას.

მხოლოდ კოორდინირებული და კოლექტიური ძალისხმევის შედეგად შევძლებთ ცნობიერების დონე ავამაღლოთ და გავუმკლავდეთ კიბერსაფრთხეების კომპლექსურ გამოწვევებს თანამედროვე ციფრულ სამყაროში.

გამოყენებული ლიტერატურა:

1. ა. ბიჩნიგაური, ი. ქართველიშვილი, ლ. შონია - „ფიშინგისა და მავნე კოდის მქონე ვებგვერდების პრევენციის ეფექტური მექანიზმის მოდელის შემუშავება და რეალიზაცია ვებბრაუზერის გარემოში“, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის საერთაშორისო სამეცნიერო-პრაქტიკული კონფერენცია „თანამედროვე გამოწვევები და მიღწევები ინფორმაციულ ტექნოლოგიებში - 2023“
2. ა. ბიჩნიგაური, ი. ქართველიშვილი, ლ. შონია - Unveiling Quishing: The Dark Side of QR Codes in Cyber attacks, ჟურნალი „თავდაცვა და მეცნიერება“. ტომ. No. 2 (2023), DOI: <https://doi.org/10.61446/ds.2.2023.7412>

3. ა. ბიჩნიგაური, ი. ქართველიშვილი, ლ. შონია - Strengthening Cyber Defenses - The Crucial Role of Phishing Simulation in Modern Security Strategies, ჟურნალი „თავდაცვა და მეცნიერება“. ტომ. No. 3 (2024), DOI: <https://doi.org/10.61446/ds.3.2024.8467>
4. კიბერუსაფრთხოების სფეროში ცნობიერების ამაღლების 2025-2030 წლების სტრატეგია - <https://dga.gov.ge/files/mUMPR8s3w59z.pdf>
5. ENISA (European Union Agency for Cybersecurity). (2021). Cybersecurity Education in the EU.

The Role of the Academic Community in Raising Cybersecurity Awareness

Avtandili Bichnigauri¹, Ioseb Kartvelishvili¹, Zebur Beridze²

¹Georgian Technical University

²Batumi Shota Rustaveli State University

bichnigauri_av@gtu.ge, s.kartvelishvili@gtu.ge, zazaber2020@gmail.com

Abstract

Cybersecurity is one of the most important challenges in the modern digital era, affecting both individuals, states, and international organizations. This article discusses the critical role of the academic community – in particular, lecturers and students – in raising awareness of cybersecurity. Based on the research, it was concluded that the active involvement of the academic community ensures the dissemination of knowledge, strengthening the culture of cyber hygiene and increasing the country's cyber resilience. The article identifies institutional mechanisms that contribute to the formation of a safe digital environment, and proposes a collaborative model for interaction between lecturers and students.

Keywords: Cybersecurity, Academic Community, Awareness, Cyber Hygiene, Pedagogy, Curriculum, CTF Events, Phishing, Collaboration.

ხელოვნური ინტელექტის როლი აუტიზმის ადრეული დიაგნოსტიკისა და სკრინინგისთვის მცირეწლოვან ბავშვებში

სოფიო ბარნოვი, ირმა კუცია, გვანცა ხუბულია

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი
s.barnovi@gtu.ge, i.kutsia@gtu.ge, khubulia.gvantsa24@gtu.ge

რეზიუმე

სტატია მიმოიხილავს ხელოვნური ინტელექტის გამოყენების შესაძლებლობებს აუტისტური სპექტრის აშლილობის (ასა) ადრეულ დიაგნოსტიკასა და სკრინინგის. აღწერილია თანამედროვე მეთოდოლოგიები, როგორიცაა ვიდეო ანალიზი, მეტყველების ამოცნობა და თავის ტვინის ფუნქციური სკანირება.

ასა აფერხებს ბავშვის სოციალური, კომუნიკაციური და ქცევითი უნარების განვითარებას. აღნიშნული დარღვევის ადრეული დიაგნოსტიკა და ჩარევა მნიშვნელოვან გავლენას ახდენს პაციენტის შემდგომ განვითარებასა და ცხოვრების ხარისხზე. ტრადიციული დიაგნოსტიკური მიდგომები დამოკიდებულია ფსიქიატრის პროფესიონალიზმსა და სუბიექტურ შეფასებაზე, ასევე მოითხოვს მნიშვნელოვან დროსა და რესურსებს. ამის გათვალისწინებით, აუტიზმის სპექტრის დარღვევის მქონე ბავშვთა უმრავლესობაში კლინიკური დიაგნოზი ექვს წლის ასაკამდე პერიოდში დგინდება. ადრეული ჩარევის პროგრამები ხელს უწყობს აუცილებელი კომპეტენციების ფორმირებას და კლინიკური სიმპტომების ინტენსივობის შემცირებას.

ამ პროცესში ხელოვნური ინტელექტი (AI), განსაკუთრებით მანქანური და ღრმა სწავლების მეთოდები გადამწყვეტ როლს ასრულებს, დიაგნოსტიკის სიზუსტის გაუმჯობესებაში, ამცირებს დროის რესურსებს და ზრდის ეფექტიანობას. AI-ის მხარდაჭერით განხორციელებული ფსიქოსოციალური ინტერვენციები ხელს უწყობს კომუნიკაციური და სოციალური უნარების განვითარებას, რაც დადებითად აისახება, როგორც აუტიზმის სპექტრის ინდივიდების, ასევე მათზე მზრუნველების კეთილდღეობასა და ცხოვრების ხარისხზე. კვლევა მიზნად ისახავს, ხელოვნური ინტელექტის მოდელების ეფექტიანობის შეფასებას ქცევითი, ენოვანი, ვიდეო და ბიომეტრიული მონაცემების დამუშავებაში, რათა დადგინდეს მოდელის სიზუსტე და სანდოობა.

საკვანძო სიტყვები: ასა, ხელოვნური ინტელექტი, მანქანური სწავლება, ღრმა სწავლება.

1. შესავალი.

ასა მულტიფუნქციური დარღვევაა, რომელიც გავლენას ახდენს ადამიანის სოციალურ ურთიერთობებზე, კომუნიკაციასა და ქცევაზე. ის მოიცავს სიმპტომების ფართო სპექტრს, რის გამოც მას „სპექტრის აშლილობას“ უწოდებენ. აუტიზმი არ არის დაავადება, რომელიც იკურნება, არამედ ეს არის ტვინის განსხვავებული განვითარება. აქედან გამომდინარე, შესაბამისი თერაპიითა და მხარდაჭერით, ასა-ის მქონე ადამიანებს შეუძლიათ სრულფასოვანი და პროდუქტიული ცხოვრების რიტმის შენარჩუნება. მისი გამომწვევი მიზეზები რთული და მრავალფეროვანია, მათ შორის გენეტიკური, ნეიროანატომიური და ნეიროფუნქციური დარღვევები, იმუნური სისტემის დისფუნქცია, გარემოსდაცვითი და პერინატალური ფაქტორები. მიუხედავად იმისა, რომ ამ დარღვევას გარკვეული გენეტიკური მიზეზები აქვს, კლინიკური დიაგნოზი ამჟამად, ეფუძნება დაკვირვებად და გაზომვად ქცევით ინდიკატორებს. ადრეულ ჩარევას ეფექტურად შეუძლია შეამციროს სიმპტომების საერთო სიმძიმე.

მიუხედავად იმისა, რომ სიმპტომები ჩვეულებრივ 2 წლამდე ასაკში ვლინდება, მაინც ფართომასშტაბიანი ადრეული სკრინინგი ბევრ რეგიონში არ გამოიყენება რესურსების სიმცირის გამო. აქედან გამომდინარე, აქტუალური საკითხია ადრეული სკრინინგი. ხელოვნური ინტელექტის (AI) გამოყენებით. მონაცემთა დამუშავების მეთოდები ხელს უწყობს აუტიზმის დიაგნოსტიკისთვის საჭირო ელემენტების შემცირებასა და დიაგნოსტიკური პროცესის ავტომატიზებას, რაც კლინიკური დიაგნოზის ეფექტურობას მნიშვნელოვნად ზრდის.

ტვინის ვიზუალიზაციის მონაცემების გამოყენება ტვინის სტრუქტურისა და ფუნქციის ანომალიების დასადგენად, აუტიზმის ადრეულ ეტაპზე დიაგნოსტიკის კიდევ ერთი ეფექტური გზაა. ამ მიზნით, სულ უფრო აქტუალური ხდება **რადიომიკა**, რომელიც ვიზუალიზაციის ტექნიკებს (მაგალითად, კომპიუტერულ ტომოგრაფიას, მაგნიტურ-რეზონანსულ ტომოგრაფიას, პოზიტრონ-ემისიურ ტომოგრაფიას) ხელოვნურ ინტელექტთან აერთიანებს.

2. კვლევის მეთოდოლოგია

ბოლო წლებში მკვლევარებმა აღიარეს ხელოვნური ინტელექტის გამოყენების ფართო სპექტრი აუტიზმის ადრეული დიაგნოსტიკაში მცირეწლოვან ბავშვებში და ამ მიმართულებით მრავალი კვლევა ჩატარდა.

მედიცინის სწრაფად განვითარებადი სფეროა. ტვინში არსებული რთული პათოლოგიური ნიშნულების იდენტიფიცირებისა და დიაგნოსტიკის მოდელებს დიდი პოტენციალი აქვს აშლილობების დიაგნოსტიკისთვის. ტრადიციული ვიზუალიზაციის მეთოდები რადიოლოგებისგან მოითხოვს მიღებული 2D ან 3D გამოსახულებების სეგმენტირებას, ინტერესის არეალის შესარჩევად. ეს პროცესი შრომატევადი და მვირადღირებულისაა. ხელოვნური ინტელექტის მოდელები ამარტივებს სეგმენტაციის პროცესის ავტომატიზაციას. ამ მოდელებს შეუძლიათ სწრაფად მიიღონ ასობით ან ათასობით მახასიათებელი, გააანალიზონ ისინი პროგნოზირების მოდელის შესაქმნელად და შემდეგ შეაფასონ მოდელის ეფექტიანობა ახალ მონაცემთა ნაკრებზე. აღნიშნული პროცესი განსაკუთრებით გამოსადეგია ფსიქიატრიული აშლილობების რთული ნიშნულების ანალიზისა და დიაგნოსტიკისთვის.

ხელოვნური ინტელექტის მეთოდების დანერგვა ხელს უწყობს რისკის შემცველი გენების პრიორიტეტიზაციას და ტვინის ვიზუალიზაციის მონაცემების საფუძველზე ზუსტი დიაგნოზის დასმას.

თვალის მოძრაობები, რომლებიც ქცევის, შემეცნებისა და გადაწყვეტილების მიღების ინდიკატორებია, პერსპექტიული ბიომარკერების ფუნქციას ასრულებს. მსოფლიოში არსებული კვლევები მიუთითებს, რომ მათ აქვთ სირთულეები სოციალური სცენების აღქმის, თვალის კონტაქტის დამყარებისა და შენარჩუნების, ასევე სახის ინფორმაციის ამოცნობის კუთხით. ამ მახასიათებლების ობიექტურად გაზომვა შესაძლებელია თვალის თვალთვალის (eye-tracking) ტექნოლოგიის გამოყენებით. თვალის თვალთვალის შეფასებები წარმოქმნის ფართომასშტაბიან დროით და სივრცით მონაცემებს და ვიზუალური ყურადღების მრავალ მახასიათებელს, რომელთა ანალიზიც ღრმა სწავლების ალგორითმებით შეიძლება განხორციელდეს.

ბოლო დროს, მნიშვნელოვნად გაიზარდა eye-tracking და ღრმა სწავლების კომბინაციით ჩატარებული კვლევების რაოდენობა, რომლებიც მიზნად ისახავს ასა-ის მქონე მცირეწლოვანი ბავშვების კლასიფიკაციას. კვლევაში გამოიყენება ღრმა სწავლების სხვადასხვა ნეირონული ქსელები: კონვოლუციური (CNN), რეკურენტული (RNN) და ჰიბრიდული მოდელები (CNN-ANN).

ნეირომრავალფეროვნების პერსპექტივიდან გამომდინარე, აუტიზმის მქონე პირები არ განიხილებიან, როგორც ყურადღების დეფიციტის მქონე ინდივიდები. ისინი უბრალოდ არიან ადამიანები, რომლებსაც ნეიროგანვითარებითი თავისებურებების გამო უჭირთ არსებულ გარემოსთან ადაპტირება. დამატებითი მახასიათებლებია ქცევისა და აქტივობების ატიპიური ნიმუშები, როგორიცაა ერთი აქტივობიდან მეორეზე გადასვლის სირთულე, დეტალებზე ფოკუსირება და შეგრძნებებზე უჩვეულო რეაქციები. მათი სოციალური ადაპტაციის გაუმჯობესების ძირითადი ფაქტორები საგანმანათლებლო და სოციალური ინტერვენციებია.

ხელოვნურ ინტელექტს (AI) შეუძლია მნიშვნელოვნად დაეხმაროს ასა-ის მქონე მცირეწლოვან ბავშვებს ძირითადი სოციალური ინტერაქციებისა და ინტერპერსონალური კომუნიკაციის განვითარებაში, ასევე ემოციების ამოცნობისა და მართვის უნარის გაუმჯობესებაში. მისი გამოყენება ხელს უწყობს ამ ბავშვებისათვის განათლებისა და დასაქმების თანაბარი უფლებებით სარგებლობას. სოციალურ კონტექსტში, ხელოვნურ ინტელექტს შეუძლია ხელი შეუწყოს ბავშვებს სხვადასხვა ობიექტის უკეთ გამოყენებაში და შეუმსუბუქოს მათ სოციალურ ცხოვრებასთან დაკავშირებული სირთულეები.

ასა-ის ადრეული გამოვლენის გასაუმჯობესებლად მანქანური სწავლების მეთოდების გამოყენებამ ბოლო წლებში მნიშვნელოვან პროგრესს მიაღწია. მკვლევრებმა გამოიყენეს მრავალი მანქანური სწავლების ალგორითმი სხვადასხვა მონაცემთა ნაკრების შესასწავლად, მათ შორის ქცევითი ნიმუშების, სოციალური ინტერაქციების, გენეტიკური და ტვინის ვიზუალიზაციის მონაცემების. შემუშავდა პროგნოზირებადი მოდელები, რომლებიც ადრეულ ეტაპზე ავლენენ ასა-ის დიაგნოზს. მონაცემთა ნაკრებზე დაყრდნობით შექმნილია მობილური აპლიკაცია, რომელიც აერთიანებს ქცევით (behavioral) და დემოგრაფიულ მონაცემებს სხვადასხვა ასაკის ჯგუფებში.

აუტიზმის სპექტრის დარღვევის დიაგნოზი შესაძლებელია საკმაოდ ადრეულ ასაკში, თუმცა, მისი ზუსტი დრო დამოკიდებულია მრავალი ფაქტორის ერთობლიობაზე, მათ შორის სიმპტომების სიმძიმეზე, მშობელთა დაკვირვებულობაზე და კლინიკური მიდგომის ეფექტიანობაზე.

ჯანდაცვის მსოფლიო ორგანიზაციის (WHO) მონაცემებით, მსოფლიოში ბავშვების დაახლოებით 10-15%-ს ნეიროგანვითარებითი აშლილობები აწუხებს, მათ შორის აუტისტური სპექტრის აშლილობა (ASD), ჰიპერაქტივობის სინდრომი (ADHD) და ინტელექტუალური განვითარების დარღვევები. ბოლო კვლევების მონაცემებით, დაავადებათა კონტროლისა და პრევენციის ცენტრების (CDC) თანახმად, შეერთებულ შტატებში 44 ბავშვიდან 1-ს ასა-ის დიაგნოზი აქვს, რაც მნიშვნელოვნად მაღალია წინა წლების მაჩვენებლებთან შედარებით.

2023 წელს, კორეის რობოტიკისა და ტექნოლოგიების კონვენციის ინსტიტუტის (KIRO) სეულის ცენტრში, მკვლევრებმა ასა-ის სკრინინგისთვის „ცოცხალი ლაბორატორია“ დააარსეს. ბოლო ხუთი წლის განმავლობაში ისინი ატარებენ სადამკვირვებლო ტესტებს და აგროვებენ მონაცემებს ჩვილებსა და მცირეწლოვან ბავშვებზე, რითაც ხელს უწყობენ ამ სფეროში ტექნოლოგიების განვითარებას.

ეს ტექნოლოგია მსოფლიოში პირველი მულტიდისციპლინური, კონვენციისაზე დაფუძნებული **ხელოვნური ინტელექტის (AI)** მეთოდია ასა-ის სკრინინგისთვის. ის აუმჯობესებს არსებული სკრინინგის ინსტრუმენტების შეზღუდვებს და წარმოადგენს ახალ მიდგომებს, რომელიც უფრო **ობიექტური და რაოდენობრივი შეფასებების** შესაძლებლობას იძლევა. აღნიშნული კვლევის ფარგლებში, შემუშავდა ჩვილებისა და ბავშვების დაკვირვების

სცენარი, რომლის დროსაც შესაძლებელია ხელოვნური ინტელექტის ტექნოლოგიის გამოყენება.

ხელოვნურ ინტელექტს (AI) მნიშვნელოვანი როლი აქვთ ასა-ის გამოვლენასა და დიაგნოსტიკაში, განსაკუთრებით ადრეული გამოვლენისა და ინდივიდუალური მკურნალობის უახლესი მეთოდოლოგიების გამოყენებით. მანქანური სწავლების ალგორითმები, როგორებიცაა **საყრდენი ვექტორის მეთოდი (SVM)**, **შემთხვევითი ტყეები** და **ღრმა სწავლების მოდელები**, ფართოდ გამოიყენება სხვადასხვა ტიპის მონაცემების ანალიზისთვის, მათ შორის ნეიროვიზუალიზაციის, გენეტიკური, ქცევითი და კლინიკური მონაცემების. გადაწყვეტილებათა ხის მოდელებს აქვს უნარი, აღმოაჩინონ ნიმუშები და მახასიათებლები, რომელთა დადგენაც ადამიან კლინიკისტებს უჭირთ, რაც იწვევს უფრო ზუსტ და დროულ დიაგნოზს.

თუმცა, ამ მოდელების უმეტესობის „შავი ყუთის“ ბუნება პრობლემებს ქმნის კლინიკურ გარემოში, სადაც ინტერპრეტაცია კრიტიკულად მნიშვნელოვანია ნდობისა და ადაპტაციისთვის. სწორედ, აქ შემოდის ახსნადი ხელოვნური ინტელექტი (XAI), რომელიც გვთავაზობს ტექნიკებს, როგორებიცაა LIME, SHAP და კონცენტრაციის მექანიზმები, რაც ამ მოდელების გადაწყვეტილებებს უფრო გამჭვირვალეს ხდის. კომბინაციაში, **ხელოვნური ინტელექტი და ახსნადი ხელოვნური ინტელექტი** წარმოადგენენ შესანიშნავ მიდგომას ასა-ის გამოვლენის გასაუმჯობესებლად.

თანამედროვე მანქანური სწავლების ტექნიკის მიმდინარე ტენდენციები როგორიცაა SVM-ები, CNN-ები და ღრმა სწავლების არქიტექტურები, მნიშვნელოვან როლს თამაშობს დიაგნოსტიკური სიზუსტის გასაუმჯობესებლად.

3. ღრმა სწავლება და მისი როლი ასა-ის დიაგნოსტიკის შეფასებაში

ღრმა სწავლება მოიცავს მრავალ ნეირონულ შრესა და მათთან დაკავშირებულ ალგორითმებს. ღრმა სწავლების მოდელს შეუძლია არასტრუქტურირებული მონაცემებიდან ამოიღოს ისეთი მახასიათებლები, რომლებიც საჭიროა ზუსტი პროგნოზების გასაკეთებლად. მკვლევრებმა შეადარეს ღრმა სწავლების სხვადასხვა ალგორითმებით გენერირებული მოდელები ასა-ის შესაძლო შემთხვევების კლასიფიკაციისთვის. მათ აღმოაჩინეს, რომ ღრმა და კონვოლუციურ ნეირონულ ქსელებზე დაფუძნებული მოდელები უფრო ეფექტური აღმოჩნდა.

მოქნილობისა და ეფექტურობის გამო, ღრმა სწავლების მეთოდები ასევე ქმნის ახალ შესაძლებლობებს მცირეწლოვან ბავშვებში ავტომატური დიაგნოსტიკისთვის. ადრეული სკრინინგისა და დიაგნოზის მისაღწევად, ხელოვნური ინტელექტის მეთოდებმა შექმნეს პროგნოზირებადი მოდელები ადრეული ქცევითი დიაგნოზის ავტომატიზაციის გასაუმჯობესებლად:

1. ქცევაზე დაფუძნებული ანალიზი (Behavioral AI Models)

- **ვიდეო ანალიზი** . ბავშვების თამაშის, მოძრაობისა და სოციალური ქცევის ავტომატური შეფასება ვიდეო მასალაზე დაყრდნობით. გამოიყენება CNN ნეირონული ქსელები.
- **თვალიწერის დევნება ხელოვნური ინტელექტით (Eye-tracking with AI)**. ეკრანზე გამოსახული სოციალური სცენების თვალის ფოკუსისა და მოძრაობის ანალიზი.

2. ენობრივი ნიშნების ანალიზი (Language & Speech Analysis)

- **ხმოვანი ჩანაწერები (Audio AI) და ბუნებრივი ენის დამუშავება (NLP)**. ბავშვის ბგერების, ტონისა და სისწრაფის ანალიზი (prosody). აქცენტირებული სიტყვები -კლასიფიცირდება ML მოდელებით. ბავშვის მიერ გამოყენებული სიტყვებისა და წინადადების სტრუქტურის ანალიზი. სიტყვების სიხშირე, ლექსიკური სირთულე.

3. გენური მონაცემების ანალიზი (Genomic & Biomarker AI Models)

- გენეტიკური პროგნოზირების მოდელები. AI გამოიყენება გენის გამოვლინებისა და მუტაციების საფუძველზე აუტიზმის რისკის განსასაზღვრად.
- ბიომარკერების იდენტიფიკაცია. სისხლის ან სხვა ბიოლოგიური სითხეებიდან მიღებული მონაცემები (მოლეკულური ბიომარკერები).

4. ტვინის გამოსახულებების ანალიზი (Neuroimaging AI)

- MRI / fMRI ანალიზი. AI იყენებს ტვინის სტრუქტურული ან ფუნქციური გამოსახულებების ანალიზს. გამოიყენება CNN და Autoencoder მოდელები.
- ABIDE მონაცემების გამოყენება. ABIDE (Autism Brain Imaging Data Exchange) არის ღია ბაზა, სადაც თავმოყრილია ბავშვთა აუტისტური და ნეიროტიკული MRI მონაცემები.

5. მულტიმოდალური მიდგომები (Multimodal AI)

- ამ მეთოდში რამდენიმე მონაცემის ტიპი კომბინირდება ერთ მოდელში: ვიდეო, ხმა, MRI, eye-tracking. მულტიმოდალური ტრანსფორმერები და attention-based მოდელები ემეზღვნენ ნიშნებს შორის კავშირს სხვადასხვა წყაროდან.

4. დასკვნა.

აუტიზმის სპექტრის აშლილობა წარმოადგენს კომპლექსურ ნეიროგანვითარებით მდგომარეობას, რომლის ადრეული გამოვლენა კრიტიკულია ბავშვის განვითარების ხელშეწყობად. მიუხედავად იმისა, რომ ტრადიციული დიაგნოსტიკური მეთოდები შედეგანია, ისინი ხშირად დიდ დროს მოითხოვენ და დამოკიდებულია სუბიექტურ შეფასებაზე. ხელოვნური ინტელექტის (AI) ინტეგრაცია აუტიზმის ადრეულ დიაგნოსტიკაში ქმნის სრულიად ახალ პერსპექტივებს. მანქანური სწავლების ალგორითმებზე დაფუძნებული მეთოდები - როგორცაა ღრმა ნეირონული ქსელები, Random Forest, SVM და სხვ. რაც იძლევა მაღალი სიზუსტის, სტაბილური და მასშტაბირებადი შეფასების საშუალებას.

მოცემულ კვლევაში განხილულია სხვადასხვა მონაცემებზე დაფუძნებული მიდგომები - მათ შორის ქცევითი შეფასება, ვიდეოანალიზი, თერმული გამოსახულებები და გენის მონაცემთა ანალიზი, სადაც ნათლად ჩანს, რომ AI სისტემებს შეუძლიათ მკაფიოდ გამიჯნონ აუტისტური ნიშნები არაუტისტურისგან. მნიშვნელოვანია, რომ მომავალი კვლევები ორიენტირებული იყოს ახსნადი ხელოვნური ინტელექტის (XAI) განვითარებაზე, მრავალმოდალურ მონაცემთა ინტეგრაციაზე და სამედიცინო სფეროს გაუმჯობესებაზე, რაც საშუალებას მისცემს AI სისტემებს ეფექტურად ითანამშრომლონ კლინიკურ პრაქტიკასთან. შედეგად, გაიზრდება დიაგნოსტიკის სიზუსტე, შემცირდება დაგვიანებული გამოვლენის შემთხვევები და უფრო ფართო მასშტაბით გახდება შესაძლებელი აუტიზმის მქონე ბავშვების ადრეული მხარდაჭერა.

ბოლო პერიოდში ამ სფეროში განხორციელდა მრავალი კვლევა, რაც განპირობებულია ჯანდაცვის სექტორში AI-ის მეთოდების გამოყენებით უფრო სწრაფი და ზუსტი დიაგნოსტიკის მიღწევის საჭიროებით.

გამოყენებული ლიტერატურა:

1. Abou-Zahra, S., Brewer, J., & Cooper, M. (2018). *Web accessibility metrics: New directions and challenges*. W3C Web Accessibility Initiative.
2. Lord, C., Elsabbagh, M., Baird, G., & Veenstra-VanderWeele, J. (2018). Autism spectrum disorder. *The Lancet*, 392(10146), 508–520. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(18\)31129-2](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(18)31129-2)
3. Lombardo, M. V., Lai, M. C., & Baron-Cohen, S. (2019). Big data approaches to decomposing heterogeneity across the autism spectrum. *Molecular Psychiatry*, 24, 1435–1450.
4. Yassin, W., Nakatani, H., Zhu, Y., Kojima, M., Owada, K., Kuwabara, H., & Koike, S. (2020). Machine-learning classification using neuroimaging data in schizophrenia, autism, ultra-high risk and first-episode psychosis. *Translational Psychiatry*, 10, 278. <https://doi.org/10.1038/s41398-020-00984-3>
5. Centers for Disease Control and Prevention (CDC). (2024). *Data & Statistics on Autism Spectrum Disorder*. <https://www.cdc.gov/ncbddd/autism/data.html>
6. World Health Organization (WHO). (2024). *Autism Spectrum Disorders*. <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/autism-spectrum-disorders>

The Role of Artificial Intelligence in the Early Diagnosis and Screening of Autism Spectrum Disorder in Young Children

Sophio Barnovi, Irama Kutsia, Gvantsa Khubulia

Georgian Technical University

s.barnovi@gtu.ge, i.kutsia@gtu.ge, khubulia.gvantsa24@gtu.ge

Abstract

This article explores the potential applications of artificial intelligence (AI) in the early diagnosis and screening of Autism Spectrum Disorder (ASD). It outlines contemporary methodologies such as video analysis, speech recognition, and functional brain imaging, which have emerged as promising tools in identifying ASD at earlier stages.

ASD hinders the development of children's social, communicative, and behavioral skills. Early diagnosis and timely intervention play a vital role in shaping developmental trajectories and improving quality of life. Traditional diagnostic methods are largely dependent on the expertise of psychiatrists, and they often require substantial time and resources. Consequently, most children with ASD receive a clinical diagnosis before the age of six. Early intervention programs facilitate the development of essential competencies and contribute to a reduction in the severity of clinical symptoms.

In this context, artificial intelligence - particularly machine learning and deep learning techniques - plays a pivotal role in enhancing diagnostic precision, reducing the time and resource burden, and increasing overall efficiency. AI-supported psychosocial interventions promote the development of communication and social skills, thereby positively influencing the well-being and life satisfaction of both individuals with ASD and their caregivers. The aim of this study is to evaluate the effectiveness of AI-based models in processing behavioral, linguistic, visual, and biometric data to determine their accuracy and reliability in ASD-related applications.

Keywords: Autism Spectrum Disorder (ASD), Artificial Intelligence, Machine Learning, Deep Learning

ხელოვნური ნეირონული ქსელის ჰიბრიდული მოდელი ორთოგონალური რეგულარიზაციით

იბრაიმ დიდმანიძე, გრიგოლ კახიანი

ბათუმის შოთა რუსთაველის სახელმწიფო უნივერსიტეტი

ibram.didmanidze@bsu.edu.ge, g.kakhiani@bsu.edu.ge

რეზიუმე

წარმოდგენილი სტატია განიხილავს ვალუტის გაცვლითი კურსების მწკრივების პროგნოზირების ამოცანას, რაც დღევანდელი გამოყენებითი მათემატიკისა და მანქანური დასწავლის ერთ-ერთი მთავარი გამოწვევაა. შემოთავაზებულია ხელოვნური ნეირონული ქსელის (ANN) ჰიბრიდული მოდელი ორთოგონალური რეგულარიზაციით, რომლის მიზანია მოკლევადიანი პროგნოზის სიზუსტის გაუმჯობესება. მიდგომა იყენებს ორთოგონალური ბაზისებისა და არაწრფივი გარდაქმნების კომბინაციას ANN არქიტექტურაში. წარმოდგენილი ორთოგონალური გარდაქმნა, გამოიყენება დროითი მწკრივის სიხშირული და ტრენდული კომპონენტების გამოსაყოფად, შეყვანილი მახასიათებლების კორელაციის შესამცირებლად და ქსელის ხმაურის მიმართ მდგრადობის გასაზრდელად.

საკვანძო სიტყვები: ხელოვნური ნეირონული ქსელი (ANN), ორთოგონალური რეგულარიზაცია, დროითი მწკრივები.

1. შესავალი

ვალუტის გაცვლითი კურსების მწკრივების პროგნოზირება დღევანდელი გამოყენებითი მათემატიკისა და მანქანური დასწავლის ერთ-ერთი მთავარი ამოცანაა. მიუხედავად არსებული ვრცელი ლიტერატურისა, კვლევების უმეტესობის საფუძველს წარმოადგენს ევრისტიკული ან ემპირიული მიდგომები (ან ამ მიდგომების ერთგვარი სინთეზი). აქ შემოთავაზებულია მათემატიკურად დასაბუთებულ მეთოდი, რომელიც იყენებს ორთოგონალური ბაზისებისა და არაწრფივი გარდაქმნების კომბინაციას ხელოვნური ნეირონული ქსელების (ANN) არქიტექტურაში, ვალუტის გაცვლითი კურსების მოკლევადიანი პროგნოზის სიზუსტის გასაუმჯობესებლად. ნაშრომში წარმოდგენილი მიდგომები მოიცავს, რეგულარიზაციას ორთოგონალურ სივრცეში და სპეციალური ბაზისების გამოყენებას, რომლებიც ადაპტირებულია დროითი მწკრივების სტატისტიკურ თვისებებზე.

2. ძირითადი ნაწილი

ვალუტის კურსების დროითი მწკრივი მოცემულია მიმდევრობით:

$$X = \{x_t\}_{t=1}^N, \quad x_t \in \mathbb{R},$$

სადაც x_t - კურსის მნიშვნელობა t დროის მომენტში. საჭიროა ისეთი მოდელის აგება $f: \mathbb{R}^m \rightarrow \mathbb{R}$ რომელიც მინიმუმამდე დაიყვანს შეცდომის ფუნქციონალს:

$$J(f) = \frac{1}{N-m} \sum_{t=m}^{N-1} (x_{t+1} - \hat{x}_{t+1})^2.$$

სადაც:

$$\hat{x}_{t+1} = f(x_t, x_{t-1}, \dots, x_{t-m+1}),$$

არის პროგნოზირებული მნიშვნელობა.

აღსანიშნავია, რომ ეს ამოცანა გამოირჩევა დროითი მწკრივის მონაცემებში არსებული ხმაურის მიმართ მაღალი მგრძნობელობითა და არაწრფივი სტრუქტურების არსებობით, ამიტომ აუცილებელია ისეთი მეთოდების გამოყენება, რომლებიც ხელს უწყობენ მონაცემებში ფარული კომპონენტების გამოვლენას.

ზემოთ აღნიშნული მიზნების მისაღწევად დროითი მწკრივის მიმართ გამოვიყენოთ დისკრეტული ორთოგონალური გარდაქმნა:

$$y_t = Ux_t,$$

სადაც $U \in O(m)$ - ორთოგონალური მატრიცაა შესაბამისად:

$$(U^T U) = I$$

U -ს სახით შეიძლება გამოყენებული იქნას შემდეგი გარდაქმნები:

ფურიეს გარდაქმნა - გამოყოფს დროითი მწკრივის სიხშირულ კომპონენტებს.

უოლშის გარდაქმნა - სასარგებლოა მკვეთრი ცვლილებების მქონე სიგნალების ანალიზისთვის.

ვეივლეტ-გარდაქმნა - უზრუნველყოფს ლოკალიზაციას როგორც დროში ასევე სივრცეში.

მირითადი კომპონენტების მეთოდის (PCA) საფუძველზე აგებული ადაპტური მატრიცები

მიდგომის მთავარი იდეა მდგომარეობს იმაში, რომ ორთოგონალური გარდაქმნები საშუალებას გვაძლევს: გამოვყოთ რიგის სიხშირული და ტრენდული კომპონენტები, შევამციროთ შეყვანილი მახასიათებლების კორელაცია და რაც მთავარია გავზარდოთ ქსელის მდგრადობა ხმაურის მიმართ

ზემოთ მოყვანილი მოსაზრებებიდან გამომდინარე მიზანშეწონილად მიგვაჩნია კლასიკური მრავალშრიანი პერცეპტრონული არქიტექტურის ნაცვლად, კომბინირებული ქსელის გამოყენება, რომელიც შედგება შემდეგი შრეებისგან:

1. ორთოგონალური ბლოკ-პროექტორი: წრფივი U გარდაქმნა.
2. რადიალურ-ბაზისურ ბირთვზე აგებული შრე (RBF): ლოკალური არაწრფივობების აპროქსიმაცია.
3. MLP-შრე: გლობალური დამოკიდებულებების აპროქსიმაცია ფარულ სივრცეში.

შესაბამისად, პროგნოზი გამოითვლება ფორმულით:

$$\hat{x}_{t+1} = W_2 \sigma(W_1 U y_t + b_1) + b_2,$$

სადაც σ - აქტივაციის არაწრფივი ფუნქცია, W_1, W_2 - დასასწავლი მატრიცები.

რადიალურ ბაზისურ ფუნქციას ექნება შემდეგი სახე:

$$\phi_j = \exp\left(-\frac{\|y - c_j\|^2}{2\sigma_j^2}\right),$$

სადაც c_j - ბაზისის ცენტრია, σ_j - სიგანის პარამეტრი. ეს შრე უზრუნველყოფს ლოკალური კანონზომიერებების გამოყოფას მახასიათებლების სივრცეში.

ასევე უნდა აღინიშნოს რამდენიმე მომენტი:

1. LSTM ქსელები კარგად „იჭერს“ გრძელვადიან დამოკიდებულებებს, მაგრამ სუსტია ხმაურის მიმართ

2. CNN ქსელები სასარგებლოა ლოკალური პატერნების გამოსავლენად მაგრამ ცუდად მუშაობენ ქაოტურ სიგნალებთან
3. RBF და MLP კომბინაცია მონაცემთა ორთოგონალური წინარ დამუშავების პირობებში გაცილებით უფრო მდგრადია ვიდრე ცალკე-ცალკე აღებული LSTM და CNN მოდელები.

გადამეტებული მორგების (overfitting) წინააღმდეგ ბრძოლისთვის, შემოვიტანოთ რეგულარიზაცია ორთოგონალურ სივრცეში:

$$R(U, W_1, W_2) = \lambda_1 \|U^T U - I\|_F^2 + \lambda_2 (\|W_1\|_F^2 + \|W_2\|_F^2)$$

სადაც პირველი წევრი $\|U^T U - I\|_F^2$ - აკონტროლებს U-ს ორთოგონალურობის შენარჩუნებას. მეორე წევრი ხელს უშლის ქსელის წონების ზედმეტ ზრდას.

ეს ფუნქციონალი უზრუნველყოფს U-ს ორთოგონალურობის შენარჩუნებას დასწავლის პროცესში, რაც ამცირებს მახასიათებლების სიჭარბეს.

თეორია:

თუ U დასწავლის პროცესში ინარჩუნებს ორთოგონალურობას, მაშინ შეყვანილი მონაცემების სპექტრულ დაშლას აქვს მინიმალური პირობითი რიცხვი.

ეს დასკვნა გამომდინარეობს იქიდან, რომ თუ $J(W)$ - არის შეცდომის ფუნქციონალი მაშინ გრადიენტს შემდეგი სახე გააჩნია:

$$\nabla J = (U^T U)W + \epsilon$$

სადაც ϵ - შესფოთებაა. გასაგებია, რომ U-ს ორთოგონალურობის მოთხოვნიდან გამომდინარე - $(U^T U) = I$ იაკობის მატრიცის პირობითი რიცხვი მინიმალურია რაც აჩქარებს კონვერგენციას

წარმოდგენილი მეთოდის შემოწმების მიზნით გამოყენებული იქნა EUR/USD, GBP/USD და USD/JPY წყვილების სავალუტო კურსების მონაცემები 1 წუთის ნაბიჯით და რომლებიც მოიცავს 2018–2024 წწ. პერიოდს.

სატესტო მონაცემებზე EUR/USD, GBP/USD და USD/JPY მოდელმა გვიჩვენა კლასიკურ MLP მოდელთან შედარებით MSE-ს შემცირება 12–15%, უფრო სტაბილური ქცევა მაღალი სიხშირის რხევებზე და მოკლევადიანი პროგნოზირების (2-3 ნაბიჯი) უკეთესი უნარი.

3. დასკვნა

შედეგად, შეიძლება დავასკვნათ, რომ არაწრფივ შრეებამდე ორთოგონალური გარდაქმნების შრის გამოყენება ამცირებს იაკობის გრადიენტული პროცესის მატრიცის პირობითი რიცხვებს, 20–30%-ით აჩქარებს დასწავლის პროცესის კრებადობას, გვაძლევს შესავალი მონაცემების ლოკალურად ოპტიმალურ წარმოდგენებს

მოცემული მოდელი აერთიანებს ორთოგონალური გარდაქმნების მათემატიკურ პრინციპებს RBF და MLP მოდელების არაწრფივი აპროქსიმაციის სიმძლავრესთან. ასეთი ჰიბრიდული მიდგომა საშუალებას იძლევა უფრო ეფექტურად მოვახდინოთ სავალუტო კურსების დროითი მწკრივების პროგნოზირება რასაც ფინანსური ანალიზისათვის დიდი მნიშვნელობა აქვს როგორც თეორიული ასევე პრაქტიკული თვალსაზრისით.

ამგვარად, მოდელს შეუძლია როგორც მოკლევადიანი ნიმუშების, ასევე გრძელვადიანი ტრენდების დეტექტირება. ასევე, აღსანიშნავია, რომ შემოთავაზებული არქიტექტურა მოითხოვს ნაკლებ პარამეტრს, ვიდრე ღრმა LSTM ქსელები, რაც მას გამოთვლითად უფრო ეფექტურს ხდის.

გამოყენებული ლიტერატურა:

1. Bishop C. M. Pattern Recognition and Machine Learning. Springer, 2006.
2. Haykin S. Neural Networks and Learning Machines. Pearson, 2009.
3. Goodfellow I., Bengio Y., Courville A. Deep Learning. MIT Press, 2016.
4. Box G., Jenkins G. Time Series Analysis: Forecasting and Control. Wiley, 2015.
5. Mallat S. A Wavelet Tour of Signal Processing. Academic Press, 2009.
6. Zhang G. Time series forecasting using a hybrid ARIMA and neural network model. Neurocomputing, 50 (2003).
7. Hornik K., Stinchcombe M., White H. Multilayer feedforward networks are universal approximators. Neural Networks, 1989.
8. Poggio T., Girosi F. Networks for approximation and learning. Proceedings of the IEEE, 1990.
9. Oseledets I. V. Tensor-train decomposition. SIAM Journal on Scientific Computing, 2011.
10. Kloeden P., Platen E. Numerical Solution of Stochastic Differential Equations. Springer, 1992.
11. Kingma D., Ba J. *Adam: A method for stochastic optimization*. ICLR, 2015.

Hybrid Model of Artificial Neural Network with Orthogonal Regularization

Ibraim Didmanidze, Gregory Kakhiani

Batumi Shota Rustaveli State University

ibraim.didmanidze@bsu.edu.ge, g.kakhiani@bsu.edu.ge

Abstract

The paper proposes a new method for forecasting foreign exchange time series, which improves accuracy and robustness against noise and non-linear structures present in the data. The main innovation is the integration of an orthogonal transformation layer (e.g., Fourier, Wavelet, PCA-based) with traditional RBF and MLP layers. This hybrid approach ensures optimal data preprocessing, reduces feature correlation, and minimizes the conditional number of the Jacobian matrix. A significant theoretical and practical contribution is the introduction of orthogonal regularization, which directly controls the preservation of the orthogonality of the transformation matrix during learning. Experimental results on three major currency pairs (EUR/USD, GBP/USD, USD/JPY) confirm that the proposed hybrid model significantly reduces the Mean Squared Error (MSE) by 12–15% compared to classical models and accelerates convergence by 20–30%. The paper highlights this model's superiority over LSTM and CNN networks in terms of its robustness and computational efficiency.

Keywords: Artificial Neural Network (ANN), Orthogonal Regularization, Time Series

მონაცემთა განაწილებული ბაზების აგება და სისტემების თეორიისა და სისტემური მოდელირების გამოყენება განათლებაში

გიორგი იმნაიშვილი¹, ნუკრი სირაბიძე², ზურაბ დუმბაძე³

¹ბათუმის შოთა რუსთაველის სახელმწიფო უნივერსიტეტი

²მაღალტექნოლოგიური ჰოსპიტალი „მედცენტრი“

³ბათუმის N6 ფიზიკა მათემატიკის საჯარო სკოლა

giorgi.imnaishvili@bsu.edu.ge, nukri.sirabidze.pb@gmail.com, dumbadze.zura@gmail.com

რეზიუმე

თავდაპირველად სისტემების თეორია შეიქმნა, როგორც გამაერთიანებელი მიდგომა მეცნიერული კვლევისათვის განსხვავებულ სფეროებში, რომელსაც ხელი უნდა შეეწყო უფრო კონკრეტული თეორიების აღმოცენებისათვის ცალკეულ დისციპლინებში. თუმცა, დღესდღეობით, სისტემების ზოგადი თეორია საინტერესოდ მიიჩნევა არა მხოლოდ როგორც ზოგადი მიდგომა, არამედ როგორც კერძო თეორია ცალკეული სისტემების ფუნქციონირების ანალიზისათვის სხვადასხვა სფეროებში.

საკვანძო სიტყვები: მონაცემთა განაწილებული ბაზები, სისტემების თეორია, სისტემური მოდელირება.

1. შესავალი.

მონაცემთა განაწილებული ბაზების დაპროექტება და რეალიზაცია ექვს ეტაპს მოიცავს. პირველ ეტაპზე ფორმირდება პრობლემური სფეროს ძირითად ცნებათა ლექსიკონი.

მე-2 ეტაპზე პროექტდება საგნობრივი არის კონცეპტუალური (სემანტიკური) მოდელი. შედეგად ფორმირდება მონაცემებისა და პროცედურების გლობალური სქემა (ცოდნის ბაზა).

მე-3 ეტაპზე წყდება გლობალური ლოგიკური მოდელის დაპროექტების საკითხი. ამ მოდელის რეალიზება შეიძლება მონაცემთა ერთ-ერთი კლასიკური მოდელის გამოყენებით.

ამ ეტაპზე ფორმირდება გარკვეული გლობალური სქემა და ლოგიკური მიმართვის ცხრილები, რომლებიც ეთანადება შესაბამისად მონაცემთა აბსტრაქტულ მოდელს (სემანტიკას) და მათი წვდომის გზებს (ურთიერთკავშირებს).

მე-4 ეტაპი დამახასიათებელია მხოლოდ განაწილებული ბაზებისათვის, და ის შედგება სამი ძირითადი ქვეეტაპისაგან. ანაწილებს დაპროექტების ეტაპზე. გაითვალისწინება როგორც აპარატურის, ოპერაციული სისტემის, მონაცემთა განაწილებული ბაზების მართვის სისტემის და ქსელის ტოპოლოგიის მახასიათებლები, ასევე ბაზის განაწილების მოთხოვნების ანალიზის შედეგები.

2. ძირითადი ნაწილი.

ბაზის განაწილების შესაფასებლად განიხილება შემდეგი ძირითადი ფაქტორები: ექსპლუატაციის სიმართივე (ან სირთულე), საიმედოობა, მონაცემთა ამორჩევის ეფექტურობა, გადაგზავნის ლოკალიზაციის ხარისხი, განახლების სირთულე, ბაზის მთლიანობის დაცვა, მოქნილობა, პარალელური დამუშავების შესაძლებლობა, მონაცემთა სიჭარბე, ქსელის და კომპიუტერის მეხსიერების მოცულობა, კავშირების რეალიზაციის ღირებულება, ქსელის თანაბარი დატვირთვა გადაცემის დროს და ა.შ.

ბაზის ცენტრალიზაციის სიკეთეა ქსელში მისი ექსპლუატაციის სიმარტივე. მაგრამ შეზღუდულია ერთი კომპიუტერის მეხსიერების მოცულობით და ნაკლებად საიმედოა.

მოდელირება გულისხმობს კვლევის მეცნიერულ მეთოდს, რომელიც ეფუძნება კვლევის ობიექტსა და სხვა დამხმარე ობიექტს შორის გარკვეული შესაბამისობის არსებობას და საშუალებას იძლევა მეორე ობიექტის კვლევების რეზულტატით გამოვიტანოთ დასკვნები პირველ ობიექტზე. შესასწავლ ობიექტს უწოდებენ ორიგინალს და დამხმარეს - მოდელს. ასეთი სახით მოდელირება იძლევა საშუალებას მოდელის კვლევის რეზულტატებით გადავიტანოთ ორიგინალზე, კვლევის დროს ორიგინალის მოდელით ჩანაცვლებით.

ორიგინალსა და მოდელს შორის სრული მსგავსება არ არის აუცილებელი, და მისი მიღწევაც შეუძლებელია. ობიექტური სამყაროს მოვლენას ეკუთვნის უსასრულო რაოდენობის თვისებები. რაიმე მოვლენის მოდელის ასაგებად არ განიხილება მისი ყველა თვისებების ერთობლიობა. დასმული ამოცანისთვის განიხილება მხოლოდ უმნიშვნელო და ყველაზე არსებითი ნაწილი.

გეომეტრიული მსგავსების მოდელები ასახავს ორიგინალის გარე თვისებებს და, როგორც წესი აქვთ იგივე ფიზიკური ხასიათი. ამიტომაც, ასეთი მოდელების გამოყენებით მოდელირებას ეწოდება ფიზიკური მოდელირება.

ანალოგიური მოდელების შემთხვევაში, მოდელის თვისებების სიმრავლე გამოიყენება ორიგინალის სრულიად განსხვავებული თვისებების სიმრავლის საჩვენებლად.

მათემატიკურ მოდელში გულისხმობენ, მოდელირებად ობიექტში მათემატიკური და ლოგიკური სისტემის, პროცესის სტრუქტურაში აღწერილ, გარკვეულ შეზღუდვებისა და დაშვებების თანაფარდობას. მათემატიკური მოდელის დახმარებით, საწყისი მონაცემებით შეიძლება მივიღოთ წინასწარ უცნობი მონაცემები კვლევის ობიექტზე ან მოვლენაზე. მათემატიკური მოდელი ყველაზე ზოგადი და აბსტრაქტული მოდელია. მათემატიკური მოდელირება დაფუძნებულია მათემატიკური თანაფარდობის თვისებაზე ერთნაირად აღწეროს სხვადასხვა მოვლენები, გამოაშკარაოს ფორმალურად მსგავსი, ანალოგიური ფუნქციური კავშირები.

იმიტაციური მოდელირება გვადლევს საშუალებას გამოვიკვლიოთ უფრო დიდი სისტემები და მათი რთული სიტუაციები. იმიტაციაში გულისხმობენ ექსპერიმენტების (კვლევის) რეალურ პირობებში ჩატარების ჩანაცვლებას ხელოვნურ გარემოში. იმიტაციის მოდელი განიხილება, როგორც სისტემის სისრულის ალგორითმული აღწერილობა და მისი ფუნქციონირების პროცესი.

მოდელის აგება გვხმარება მოვიყვანოთ რთული და ზოგჯერ განუსაზღვრელი სიტუაციები, რომლებშიც საჭიროა გადაწყვეტილებების მიღება, დეტალური ანალიზისთვის ხელმისაწვდომ ლოგიკურად აგებულ სქემაში. ასეთი მოდელი გვადლევს საშუალებას გამოვავლინოთ ალტერნატიული გადაწყვეტილებები და შევაფასოთ შედეგები, რომლებამდეც მივყავართ. სხვა სიტყვებით რომ ვთქვათ, მოდელი არის რეალობის ნათელი სურათის ჩამოყალიბების საშუალება.

მოდელი უნდა აიგოს ისე, რომ აისახოს მართვის ამოცანის არსი და ამასთან ერთად თავისუფალი უნდა იყოს მეორეხარისხოვანი დეტალებისგან. ეს იძლევა უფრო ეფექტური გადაწყვეტილებების მოძებნის საშუალებას, რომლის განხორციელებაც პრაქტიკაში უფრო მარტივია. ობიექტსა და მოდელს შორის აუცილებელი შესაბამისობის საფეხური და განხორციელებადი გადაწყვეტილების მიღების შესაძლებლობა ძირითადად განისაზღვრება ამოცანის ფორმულირების ეტაპზე. თუმცა მათემატიკური მოდელის აგება მათემატიკის

სპეციალისტების საქმეა, ხელმძღვანელები უნდა იცნობდნენ ოპერაციის კვლევის, პრაქტიკული ამოცანების, ძირითადი კლასების მოდელებს და მიდგომებს.

მიკრო დონეზე სისტემების თეორია გამოყენებულია განათლების სფეროში ისეთი საკითხების შესასწავლად, როგორიცაა სწავლების პროცესის დაგეგმვა და სწავლების შეფასება, ელექტრონული ტექნოლოგიების გამოყენების ეფექტურობა, გადაწყვეტილების მიღების პროცესები და ლიდერობა სკოლაში.

მაკრო დონეზე სისტემური თეორიის გამოყენება აერთიანებს მეცნიერულ ნაშრომებს, რომლებშიც განათლების სისტემა ეკონომიკური და პოლიტიკური სუპრასისტემების ნაწილებად მოიაზრება.

სისტემური ანალიზის გამოყენების მცდელობები განათლების სფეროში ორ დიდ ჯგუფად შეიძლება დაიყოს.

პირველი ჯგუფი აერთიანებს უფრო მარტივი დონის სისტემური ანალიზის მცდელობებს. ამ ტიპის ნაშრომებში განათლების სისტემა მოიაზრება, როგორც ურთიერთდაკავშირებული ქვეკომპონენტების ერთობლიობა. შესწავლის საგანი ამ კომპონენტების (როგორც ქვესისტემებისა და სისტემის მარტივი ელემენტების) ურთიერთქმედებაა სისტემის მიზნის განხორციელების პროცესში, ხოლო ანალიზის მიზანი სისტემის კომპონენტების ურთიერთქმედების პროცესის ოპტიმიზაციაა.

მეორე ჯგუფში გაერთიანებულია უფრო რთული დონის სისტემური ანალიზის მცდელობები. სისტემური ანალიზის და სისტემური ცვლილების ეკოლოგიური გაგება, რომელიც პირველის უფრო გაშლილ ვარიანტს წარმოადგენს.

სისტემების თეორია გულისხმობს, რომ:

1. ყველა საგანი, ცოცხალი ორგანიზმი, ურთიერთობები და პროცესები არსებობს და ოპერირებს გარკვეული სისტემის ფარგლებში;
2. სისტემათა უმეტესობა ურთიერთმოქმედებს სხვა სისტემებთან და დამოკიდებულია მათზე;
3. სისტემების თეორიის ჭრილში პროცესების, საგნებისა და ურთიერთობების გააზრება უფრო ფართო წარმოდგენას გვიქმნის რეალობაზე.

3. დასკვნა.

მიუხედავად სისტემური აზროვნების ხანგრძლივი ისტორიისა, სისტემების ზოგადი თეორია, როგორც კონცეპტუალური მოდელი სოციალური მეცნიერების მკვლევართათვის მხოლოდ მეოცე საუკუნის სამოციანი წლებიდან დამკვიდრდა და გამოყენება ჰპოვა ზოგადი და ოპერაციული მართვისა და განათლების სფეროებში.

გამოყენებული ლიტერატურა:

1. Bertalanffy, Ludwig Von. 1972. The History and Status of General Systems Theory. The Academy of Management Journal 15, No. 4: 407-426.
2. Pascoe, Daniel. (2006). What is Systems Theory. TechTrends 50, no 2: 22-23.
<http://www.springerlink.com/content/8756-3894/50/2/> (28.09.11).
3. Кузнецов С.Д. Основы информационных технологий. Основы баз данных. 2007.
- 4.

Construction of Distributed Databases and Application of Systems Theory and System Modeling in Education

Giorgi Imnaishvili¹, Nukri Sirabidze², Zurab Dumbadze³

¹Batumi Shota Rustaveli State University

²High-Technology Hospital "Medcenter"

³Batumi Public School of Physics and Mathematics N6

giorgi.imnaishvili@bsu.edu.ge, nukri.sirabidze.pb@gmail.com, dumbadze.zura@gmail.com

Abstract

Systems theory was originally developed as a unifying approach to scientific research in different fields, which was intended to facilitate the emergence of more specific theories in individual disciplines. However, today, general systems theory is considered interesting not only as a general approach, but also as a specific theory for analyzing the functioning of individual systems in various fields.

Keywords: Distributed databases, systems theory, systems modeling.

თანამედროვე გამოწვევები საინფორმაციო ტექნოლოგიების პროექტების მართვაში

რუსუდან პაპიაშვილი, თამარ ასათიანი, ირინე ხომერიკი

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

r.papiashvili@gtu.ge, t.asatiani@gtu.ge, i.khomeriki@gtu.ge

რეზიუმე

თანამედროვე ციფრულ ეპოქაში საინფორმაციო ტექნოლოგიების (IT) პროექტების მართვა განიხილება არა მხოლოდ ტექნიკური პროცესების კონტროლის მექანიზმად, არამედ ბიზნესისა და ინოვაციური განვითარების სტრატეგიულ კომპონენტად. ტექნოლოგიური პროგრესი – მათ შორის ხელოვნური ინტელექტის (AI), ღრუბლოვანი სისტემების (Cloud Computing) და დიდი მონაცემების (Big Data) განვითარება – არსებითად გარდაქმნის პროექტების დაგეგმვის, შესრულებისა და კონტროლის პროცესებს. თანამედროვე კვლევების მიხედვით, ხელოვნური ინტელექტის ინტეგრაცია ხელს უწყობს პროგნოზირების სიზუსტის ზრდას (ვადების, ბიუჯეტის და რესურსების ჭრილში), უზრუნველყოფს რესურსების განაწილების ოპტიმიზაციას და აჩქარებს გადაწყვეტილების მიღების პროცესს, რაც პირდაპირ აისახება პროექტების ეფექტიანობაზე და წარმატების ალბათობაზე.

საკვანძო სიტყვები: IT პროექტების მართვა, ხელოვნური ინტელექტი, გენერაციული AI, პროექტების ავტომატიზაცია, Agile, Scrum, რისკების მართვა.

1. შესავალი.

ბიზნესისა და საზოგადოებრივი სექტორის ფუნქციონირების მოდელები ციფრულ ეპოქაში მნიშვნელოვნად იცვლება, რაც გამოწვეულია ტექნოლოგიური პროგრესით, მონაცემზე დაფუძნებული მენეჯმენტითა და ახალი ციფრული პლატფორმების გამოჩენით. ტექნოლოგიური პროგრესი, განსაკუთრებით ხელოვნური ინტელექტი (AI), ღრუბლოვანი სისტემები (Cloud), დიდი მონაცემები (Big Data) და ბლოკჩეინი უკვე არა მხოლოდ ტექნოლოგიური ინოვაციაა, არამედ ისინი განსაზღვრავენ სტრატეგიებს, გუნდის მუშაობის მეთოდებს და პროდუქტის შექმნის პროცესებს. ამ ახალი რეალობის ფონზე, ინფორმაციული ტექნოლოგიების პროექტების მართვა (IT Project Management), რომელიც ერთ დროს ტექნიკური პროცესების ოპტიმიზაციის საშუალებად მოიაზრებოდა, გადაიქცა ბიზნესისა და ინოვაციის სტრატეგიულ ბირთვად.

თანამედროვე პროექტები მოითხოვს არა მხოლოდ ტექნიკურ უნარებს, არამედ ბიზნეს პროცესების ინტეგრაციას, მომხმარებლის გამოცდილების გაუმჯობესებას და ორგანიზაციული ცვლილებების ეფექტურ მართვას.

2025 წლისთვის პროექტების მენეჯერები ფუნქციონირებენ გარემოში, რომელიც ხასიათდება უწყვეტი ცვლილებებით, მაღალი სიჩქარით, კიბერუსაფრთხოების მზარდი საფრთხეებით და მრავალფუნქციური, დისტანციური გუნდების მართვის აუცილებლობით.

სწორედ ამ პირობებში იკვეთება ახალი მიდგომები, რომელთა მიზანია არა მხოლოდ წარმატებული პროექტების განხორციელება, არამედ სასარგებლო, მდგრადი და ადამიანზე ორიენტირებული გადაწყვეტილებების მიღება.

2. ძირითადი ნაწილი

ხელოვნური ინტელექტი და პროექტების ავტომატიზაცია. ხელოვნური ინტელექტი (AI) და მანქანური სწავლება (ML) საგრძნობლად ცვლის პროექტის ციკლს: დაგეგმვის, შესრულების, კონტროლისა და ანალიზის ეტაპებს.

McKinsey-ის (2024) ანგარიშის მიხედვით, რომელიც წარმოადგენს ერთ-ერთ წამყვან სტრატეგიულ საკონსულტაციო ფირმას ბიზნესის, ტექნოლოგიების, ოპერაციების, სტრატეგიისა და ორგანიზაციული მართვის სფეროებში, ხელოვნური ინტელექტის ინტეგრაცია მნიშვნელოვნად აუმჯობესებს პროგნოზირების სიზუსტეს, რაც განსაკუთრებით აისახება ვადების, ბიუჯეტის და რესურსების მართვის პროცესებში. შედეგად, ორგანიზაციებს შეუძლიათ უკეთ გააკონტროლონ რესურსები, გააუმჯობესონ გადაწყვეტილების მიღების სისწრაფე და გაზარდონ პროექტების საერთო ეფექტიანობა.

ხელოვნური ინტელექტის გამოყენების ძირითადი შემთხვევები:

- რეალურ დროში რისკების პროგნოზირება, მაგალითად, გადაცილებული ვადების ან არასაკმარისი რესურსების იდენტიფიკაცია Gantt დიაგრამაზე.
- ხელოვნურ ინტელექტზე მომუშავე დაგეგმვის ინსტრუმენტები: მაგალითად, MS Project-ის და Jira-ის ახალი მოდულები ავტომატურად სთავაზობენ დავალებების შესრულების ვადებს და კრიტიკულ გზას.
- გენერაციული ხელოვნური ინტელექტის (Generative AI) გამოყენება, რომელიც არა მხოლოდ ინფორმაციის ანალიზს ახდენს, არამედ ახალ, ორიგინალურ კონტენტს ქმნის სხვადასხვა ფორმატში: ტექსტი, გამოსახულება, აუდიო, ვიდეო, კოდი და სხვა.

შედეგად, ხელოვნური ინტელექტი პროექტების მართვაში საშუალებას აძლევს მენეჯერებს რეალურ დროში პროგნოზირება გაუწიონ რისკებს, ავტომატურად დაგეგმონ დავალების ვადები და კრიტიკული გზები, ხოლო გენერაციული AI-ს გამოყენება დამატებით ახალ, ორიგინალურ კონტენტს ქმნის, რაც აუმჯობესებს პროექტის ეფექტურობას, კრეატიულობას და გადაწყვეტილებების მიღების სიჩქარეს.

ხელოვნური ინტელექტის ინტეგრაციის საწყისი ეტაპი პროექტებში შესაძლოა გამოწვევებთან იყოს დაკავშირებული, თუმცა შესაბამისი დაგეგმვის შემთხვევაში პროცესის განხორციელება მნიშვნელოვნად მარტივდება. ერთ-ერთი მარტივი გეგმა, როგორ დაიწყო AI-ის ინტეგრირება პროექტების მართვაში, შეიძლება ასე ჩამოვაყალიბოთ:

- **მოთხოვნების ანალიზი.** პროექტების მართვაში მოთხოვნების ანალიზი წარმოადგენს AI-ის გამოყენების ერთ-ერთ ყველაზე მნიშვნელოვან ეტაპს. ამ პროცესში აუცილებელია დეტალურად განისაზღვროს, რომელ პროცესებს ან დავალებებს სჭირდებათ ავტომატიზაცია და სად შეიძლება AI-ის გამოყენებით ყველაზე ეფექტურად. ეს გულისხმობს, როგორც მიმდინარე სამუშაოების სიღრმისეულ ანალიზს, ისე ბიზნესის მიზნების, ვადების, რესურსების და რისკების გათვალისწინებას. სწორად განხორციელებული მოთხოვნების ანალიზი ხელს უწყობს AI-ის ინტეგრაციის ეფექტურობას, თავიდან აცილებს არასაჭირო დანახარჯებს და უზრუნველყოფს, რომ ავტომატიზაცია ნამდვილად გაზარდის პროექტის პროდუქტიულობას, შემცირებს ადამიანურ შეცდომებს და გააუმჯობესებს გადაწყვეტილების მიღების პროცესს.

- **ინფორმაციის შეგროვება და ინსტრუმენტების ძებნა.** ინფორმაციის შეგროვება და ინსტრუმენტების ძებნა წარმოადგენს AI-ის პროექტების მართვაში გამოყენების საწყის ეტაპს. ამ ეტაპზე მნიშვნელოვანია ხელმისაწვდომი AI ინსტრუმენტებისა და პლატფორმების დეტალურ

რი შესწავლა, მათი შესაძლებლობებისა და შეზღუდვების გაანალიზება. ამ პროცესში შეიძლება მოხდეს შესაბამისი ინსტრუმენტის დაკავშირება კონკრეტულ პროექტის ტიპთან, ამოცანასთან ან სამუშაო პროცესთან. ასევე, აუცილებელია მცირე, კონტროლირებადი პროექტის ან კონკრეტული პროცესის არჩევა, სადაც შესაძლებელია AI-ის გამოყენების პილოტირება. ასეთი მიდგომა საშუალებას აძლევს ორგანიზაციას გაიგოს, როგორ შეიძლება AI გააუმჯობესოს ავტომატიზაცია, გაზარდოს ეფექტურობა და შეამციროს ადამიანური რესურსების დატვირთვა, ასევე უზრუნველყოფს შემდგომი მასშტაბური ინტეგრაციის საფუძველს.

- **საჭირო მონაცემების მომზადება.** AI-ის ეფექტური გამოყენება პროექტების ავტომატიზაციისა და მართვის პროცესში მნიშვნელოვნად დამოკიდებულია მონაცემების ხარისხსა და სტრუქტურაზე. მოდელს სჭირდებათ კარგად ორგანიზებული, სუფთა და სრულყოფილი მონაცემები, რომლებიც უზრუნველყოფენ ზუსტ ანალიზს, სწორი პროგნოზების გაკეთებას და ავტომატიზებულ პროცესებში ეფექტურ გადაწყვეტილებებს. შესაბამისად, მონაცემების მომზადება არის აუცილებელი წინაპირობა AI-ის წარმატებული ინტეგრაციისთვის პროექტის მართვის ნებისმიერ ეტაპზე.

- **ინტეგრაცია და ინსტალაცია.** ერთ-ერთი მნიშვნელოვანი ეტაპია შესაბამისი AI ინსტრუმენტის შერჩევა და მისი ინტეგრაცია არსებული პროექტების მართვის სისტემაში. ინსტრუმენტის არჩევისას საჭიროა გავითვალისწინოთ ორგანიზაციის მასშტაბი, გამოყენებული პროგრამული უზრუნველყოფა, ფინანსური რესურსები და ფუნქციური მოთხოვნები. მცირე კომპანიებისთვის მიზანშეწონილი შეიძლება იყოს უკვე არსებულ პლატფორმებში ინტეგრირებული მოდულების გამოყენება, ხოლო მსხვილი ორგანიზაციებისთვის – დამოუკიდებელი AI პლატფორმების დანერგვა და მათზე მორგებული გადაწყვეტილებების შექმნა.

საერთაშორისო პრაქტიკა ადასტურებს, რომ მსგავსი ინტეგრაციის ტენდენცია მზარდია. Gartner-ის პროგნოზის მიხედვით, 2025 წლისთვის პროექტის მართვის სისტემების 70%-ში AI უკვე გამოყენებული იქნება როგორც გადაწყვეტილების მხარდაჭერის ინსტრუმენტი. Microsoft-ის Copilot ფუნქციონალი კი ორგანიზაციებს სთავაზობს რესურსების ოპტიმიზაციასა და პროგნოზირებად დაგეგმვას, რაც ნათლად წარმოაჩენს AI-ის როლს თანამედროვე პროექტების მართვის პროცესში.

- **ტრენინგი და გუნდის ჩართვა.** ტრენინგი და გუნდის ჩართვა წარმოადგენს AI-ის პროექტებში ეფექტური ინტეგრაციის მნიშვნელოვან ეტაპს. აუცილებელია, რომ გუნდის წევრებმა გაიგონ, როგორ გამოიყენონ AI ინსტრუმენტები ყოველდღიური სამუშაო პროცესების გასამართივებად და ავტომატიზაციის გასაზრდელად. ამისთვის აუცილებელია მოკლე, კონცენტრირებული ტრენინგების ჩატარება, სადაც თანამშრომლებს ექნებათ შესაძლებლობა პრაქტიკულად ისწავლონ AI-ის გამოყენება, დაინახონ მისი სარგებელი და მოერგონ ახალი ტექნოლოგიების ინტეგრაციას საკუთარ სამუშაო სფეროში. გუნდის ჩართულობა ასევე უზრუნველყოფს უკეთეს მიღებას და სწრაფ ადაპტაციას, ზრდის პროდუქტიულობას და ხელს უწყობს AI-ის გამოყენების კულტურას ორგანიზაციაში.

- **ტესტირება და მონიტორინგი.** ტესტირება და მონიტორინგი წარმოადგენს AI-ის პროექტებში ეფექტური გამოყენების განუყოფელ ნაწილს. AI ინსტრუმენტების ინტეგრაციისას აუცილებელია მუდმივი შედეგების დაკვირვება, რათა შეაფასოთ, რამდენად ეფექტურია ავტომატიზაცია კონკრეტულ პროცესში. მონიტორინგი საშუალებას იძლევა დროულად გამოვავლინოთ სუსტი ადგილები, ტექნიკური პრობლემები ან პროცესის გაუმჯობესების შესაძლებლო-

ბები. ეფექტურობის შეფასება მოიცავს მიღებული შედეგების ანალიზს, მათი შედარებას დასახულ მიზნებთან და ეფექტურობის ინდიკატორებთან. საჭიროების მიხედვით, პროცესის კორექტირება უზრუნველყოფს AI-ის ფუნქციონირების ოპტიმალურობას, ავტომატიზაციის ხარისხის გაუმჯობესებას და ორგანიზაციის რესურსების მაქსიმალურ სარგებლობას. ამ მიდგომით ხდება არა მხოლოდ არსებული პროცესების ოპტიმიზაცია, არამედ მომავლისთვის პროგნოზებისა და გადაწყვეტილებების მიღების უფრო მაღალ დონეზე აღქმა.

AI ინსტრუმენტები და პლატფორმები პროექტების მართვისთვის. პროექტების მართვაში ხელოვნური ინტელექტის (AI) გამოყენებისთვის არსებობს რამდენიმე ძლიერი პლატფორმები, რომლებიც დაგეხმარება პროცესების ავტომატიზაციაში, გუნდური თანამშრომლობის გაუმჯობესებაში და ეფექტურობის გაზრდაში.

განვიხილოთ 2025 წლის საუკეთესო AI პლატფორმები პროექტების მართვაში, ესენია:

1. **Microsoft 365 Copilot.** Microsoft 365 Copilot ინტეგრირებულია პოპულარულ ინსტრუმენტებში, როგორიცაა Word, Excel, PowerPoint და Teams. პლატფორმა საშუალებას იძლევა ავტომატურად შექმნას ანგარიშები, შეასრულოს მონაცემთა ანალიზი, წარმოადგინოს პროგნოზები და შექმნას ტექსტური კონტენტი. ეს ფუნქციები განსაკუთრებულად მნიშვნელოვანია იმ ორგანიზაციებისთვის, რომლებიც ყოველდღიურ სამუშაო პროცესში მრავალ ინფორმაციას ატარებენ, რადგან AI ამარტივებს მონაცემთა დამუშავებას და ეხმარება გუნდებს სწრაფ გადაწყვეტილებათა მიღებაში.

2. **Jira AI Modules.** Jira AI Modules არის AI-ის მოდულების კომპლექტი, რომელიც სპეციალურად შემუშავებულია Agile და Scrum პროცესების ავტომატიზაციისთვის. სისტემა მხარს უჭერს დავალებების ვადების განსაზღვრას, კრიტიკული გზების იდენტიფიკაციას და რისკების ანალიზს. მისი დახმარებით პროექტის მართვა ხდება უფრო პროგნოზირებადი, ხოლო მენეჯერებს შესაძლებლობა აქვთ ოპტიმალურად გაანაწილონ რესურსები და დროულად გამოასწორონ შექმნილი პრობლემები.

3. **Asana + AI.** Asana AI უზრუნველყოფს პროექტის ოპტიმიზირებული გრაფიკის შექმნას, რესურსების ეფექტურ განაწილებას და ავტომატურად წარმოქმნის გაფრთხილებებსა და პროგრესის ანგარიშებს. ამგვარი ფუნქციონალი განსაკუთრებით გამოსადეგია კომპლექსური პროექტებისთვის, სადაც სხვადასხვა გუნდის წევრები მუშაობენ მრავალ დავალებაზე. AI-ს მხარდაჭერით, Asana ამარტივებს პროექტის სტრატეგიული დაგეგმვის პროცესს და ზრდის კონტროლის ხარისხს.

4. **Monday.com AI.** Monday.com AI გამოირჩევა ინტერაქტიული და ვიზუალური ინტერფეისით, რომელიც უზრუნველყოფს პროექტის სტატუსის მარტივ მონიტორინგს. გენერაციული AI მოდული ქმნის ტექსტებს, ანგარიშებს და წინადადებებს, რაც ამარტივებს თანამშრომლობას გუნდში და ხელს უწყობს გადაწყვეტილების მიღების პროცესის დინამიურობას. სისტემის ვიზუალიზაცია საშუალებას იძლევა სწრაფად აღმოაჩინოთ პრობლემური ადგილები და პროექტის პროგრესის მაჩვენებლები რეალურ დროში აიგნოროთ.

5. **Wrike AI.** Wrike AI უზრუნველყოფს რეალურ დროში პროგნოზებს, რისკების შეფასებას და ავტომატურად წარმოქმნის დიაგრამებს, გრაფიკებსა და ანგარიშებს. ეს ფუნქციები აუმჯობესებს პროექტის მონიტორინგის პროცესს, ზრდის მართვის სიზუსტეს და ხელმისაწვდომს ხდის დეტალურ ანალიტიკურ მონაცემებს პროექტის მენეჯერებისთვის, რაც ეხმარება ეფექტური გადაწყვეტილებების მიღებას სხვადასხვა რთულ და სწრაფად ცვალებად გარემოში.

ყველა ამ ინსტრუმენტს აქვს უფასო/საბაზისო ვერსია, რომელიც უზრუნველყოფს ძირითადი მართვის შესაძლებლობებს, რაც იდეალურია ინსტრუმენტის გაცნობისთვის ან მცირე მასშტაბის სამუშაოებისთვის. ფასიანი ვერსია კი განსაკუთრებით ფასეულია დიდი ორგანიზაციებისთვის და რთული პროექტების ეფექტური მართვისთვის, რაც მოიცავს ავტომატიზაციას, სტრატეგიულ ანალიტიკას და დიდი, მრავალმხრივი გუნდების ეფექტურ მართვას.

AI პროექტების მართვის პლატფორმების შედარება (2025)

კატეგორია	Microsoft 365 Copilot	Jira AI Modules	Asana AI	Monday.com AI	Wrike AI
ინტეგრაცია	Word, Excel, PowerPoint, Teams-ის ინტეგრაცია	Jira პლატფორმასთან და Agile/ Scrum პროცესებთან მჭიდრო კავშირი	მესამე მხარის სისტემებთან ინტეგრაცია.	Visual board, გენერაციული AI მოდული	Wrike პლატფორმა, რეალურ დროში მონაცემთა ანალიზი.
ძირითადი მახასიათებლები	ავტომატური ანგარიშგება, ტექსტური კონტენტის გენერაცია, პროგნოზირება, დოკუმენტების შინაარსის ანალიზი	დავალებების ვადის პროგნოზირება, კრიტიკული გზის იდენტიფიკაცია, რისკების ანალიზი, Agile-ს მხარდაჭერა	დროების ოპტიმიზაცია, რესურსების განაწილება, სიგნალების გენერირება, პროგრესის ანგარიშები	რეალურ დროში პროგნოზირება, რისკების შეფასება, ავტომატურად ქმნის ჩარტებს, გრაფიკების და ანგარიშებს	რეალურ დროში პროგნოზირება, რისკების შეფასება, დიագნოზის, გრაფიკებისა და ანგარიშების გენერაცია.
პრაქტიკული გამოყენება	მონაცემთა ყოველდღიური დამუშავება, გუნდური კომუნიკაცია, მართველობითი ანგარიშები	IT და პროგრამული უზრუნველყოფის პროექტები, Agile მეთოდოლოგია	მრავალმხრივი პროექტები, გუნდური თანამშრომლობა, საშუალო და დიდი ორგანიზაციები	პროექტების კონტროლი, გადაწყვეტილებების მიღება, შედეგების ვიზუალიზაცია	რთული და სწრაფად ცვალებადი პროექტები, მაღალი დონით ავტომატიზებული პროცესები.
შესაძლებლობები	დრმა ინტეგრაცია Microsoft-ის ხელსაწყოებთან, მარტივი ადაპტაცია მცირე და საშუალო ორგანიზაციებისთვის	დეტალური კონტროლი, ძლიერი რისკების ანალიზი, რესურსების ეფექტური განაწილება	ავტომატური მონიტორინგი, პროგნოზირება, მარტივი ვიზუალიზაცია, ინტუიციური ინტერფეისი	პროგნოზირების მაღალი სიზუსტე, პროექტის სრული მონიტორინგი, მონაცემთა ანალიზის მხარდაჭერა	პროგნოზირების მაღალი სიზუსტე, სრული პროექტის მონიტორინგი, მონაცემთა ანალიზის მხარდაჭერა
შეზღუდვები	შეზღუდული მოქნილობა რთული პროექტების მართვისთვის, ნაკლები	მაღალი ტექნიკური კომპეტენციის საჭიროება, რთული	შეზღუდულია რეალურ დროში რისკების ანალიზის	ინტეგრაცია სხვა სისტემებთან შესაძლოა მოითხოვდეს დამატებით	ინტეგრაცია სხვა სისტემებთან შესაძლოა მოითხოვდეს

	ბად მორგებულია სპეციფიკურ ინდუსტრიებზე	ლი ინტეგრაცია მესამე მხარის სისტემებთან	ფუნქციონალობა	ტებით კონფიგურაციას და შესაბამის ტექნიკურ უნარებს	დამატებით კონფიგურაციას და შესაბამის ტექნიკურ უნარებს AI მოდულების მართვისთვის

3. დასკვნა.

თანამედროვე საინფორმაციო ტექნოლოგიების პროექტების მართვა მნიშვნელოვან გარდატეხას განიცდის, რომელიც გამოწვეულია ტექნოლოგიური ინოვაციებით, ციფრული ტრანსფორმაციითა და ბაზრის დინამიკური მოთხოვნებით. ხელოვნური ინტელექტი, გენერაციული AI, ღრუბლოვანი სისტემები და დიდი მონაცემები აღარ წარმოადგენენ მხოლოდ ტექნოლოგიურ სიახლეს – ისინი უკვე აუცილებელი ინსტრუმენტებია პროექტების ეფექტურ დაგეგმვაში, შესრულებაში, კონტროლსა და ანალიზში.

AI-ის ინტეგრაცია უზრუნველყოფს:

- რისკების რეალურ დროში პროგნოზირებას;
- რესურსების ოპტიმიზაციას;
- პროექტის შესრულების დროულ შეფასებას;
- კრეატიული გადაწყვეტილებების მიღების პროცესის გამარტივებას.

ამავდროულად, წარმატებული AI-ინტეგრაციისთვის აუცილებელია:

- ორგანიზაციული მოთხოვნების დეტალური ანალიზი;
- სანდო მონაცემების მომზადება;
- გუნდის აქტიური ჩართულობა და ტრენინგები;
- შედეგების მუდმივი მონიტორინგი და პროცესის ოპტიმიზაცია.

ამრიგად, თანამედროვე IT პროექტების მართვა წარმოადგენს ინოვაციურ, ინტეგრირებულ და მულტიდისციპლინურ პროცესს, რომელიც აერთიანებს ტექნოლოგიურ შესაძლებლობებს, ბიზნეს-სტრატეგიასა და ადამიანურ რესურსებს. AI და სხვა ციფრული ინსტრუმენტები ქმნიან ახალი შესაძლებლობების ფანჯარას, რომელიც აძლიერებს პროექტების წარმატებულ განხორციელებას, ეფექტურობას და მდგრადობას.

გამოყენებული წყაროები:

1. Hashimzai I., Mohammadi M., The Integration of Artificial Intelligence in Project Management: A Systematic Literature Review of Emerging Trends and Challenges. TIERS Information Technology Journal, Vol.5, No.2, 2024, pp. 153-164. DOI: <https://doi.org/10.38043/tiers.v5i2.5963>.
2. Nenni M., De Felice F. How artificial intelligence will transform project management in the age of digitization: a systematic literature review, Journal - Management Review Quarterly (2025) 75: 1669–1716, <https://doi.org/10.1007/s11301-024-00418-z>.
3. McKinsey & Company (2024). How AI is changing project management. Retrieved from: <https://www.mckinsey.com>
4. Gartner (2024). Hybrid project management: The new normal. Retrieved from: <https://www.gartner.com>

5. Atlassian. (2024). Jira Intelligence: AI-powered project management. Retrieved from <https://www.atlassian.com/>
6. Asana. (2024). *Asana Intelligence: Bringing AI to Work Management*. Asana Product Updates. Retrieved from <https://asana.com>
7. Monday.com. (2024). *AI at Work: Supercharge Your Project Management*. Monday.com Resources. Retrieved from <https://monday.com>
8. Wrike. (2024). *Wrike AI: Transforming Collaboration and Project Delivery*. Wrike Blog. Retrieved from <https://www.wrike.com>
9. PMI Pulse of the Profession (2023–2024). AI and the Project Manager. Retrieved from: <https://www.pmi.org>
10. Microsoft (2024). Cloud for Sustainability Overview. Retrieved from: <https://www.microsoft.com/sustainability>
11. Harvard Business Review (2023). Project managers need better soft skills. Retrieved from: <https://hbr.org>
12. Project Management Institute. (2021). A guide to the project management body of knowledge (PMBOK® guide) (7th ed.). PMI.

Modern Challenges in IT Project Management

Rusudan Papiashvili, Tamar Asatiani, Irine Khomeriki

Georgian Technical University

r.papiashvili@gtu.ge, t.asatiani@gtu.ge, i.khomeriki@gtu.ge

Abstract

In today's digital era, Information Technology (IT) project management functions not only as a means of optimizing technical processes but also as a strategic core of business development and innovation. Emerging technologies – such as Artificial Intelligence (AI), cloud computing, and Big Data – are significantly transforming approaches to project planning, execution, and control. Recent research indicates that AI integration improves forecasting accuracy (in terms of time, budget, and resources), streamlines resource allocation, and accelerates decision-making, thereby strengthening overall project efficiency and success.

Keywords: IT Project Management, Artificial Intelligence, Generative AI, Project Automation, Agile, Scrum, Risk Management

ინფორმაციული უსაფრთხოება და კიბერუსაფრთხოების განვითარება

ოთარ შონია, ლუკა შონია, ლევან ყოლბაია

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი
o.shonia@gtu.ge, shonia@gtu.ge, levank34@gmail.com

რეზიუმე

ნაშრომი განიხილავს ინფორმაციული უსაფრთხოებისა და კიბერუსაფრთხოების განვითარების თანამედროვე ტენდენციებს, გამოწვევებსა და მომავალ პერსპექტივებს. ციფრული ტრანსფორმაციის პირობებში, როდესაც ჩვენი ცხოვრების ყველა ასპექტი გახდა დამოკიდებული ინფორმაციულ ტექნოლოგიებზე, კიბერუსაფრთხოება სცდება ტექნიკური დისციპლინის ჩვეულებრივ ფარგლებს და იქცევა სტრატეგიულ, ეკონომიკურ და სოციალურ მნიშვნელობის საკითხად. სტატიაში გაანალიზებულია ახალი ტექნოლოგიების (ხელოვნური ინტელექტი, ნივთების ინტერნეტი, ბლოკჩეინი) გავლენა უსაფრთხოების ლანდშაფტზე, განხილულია Zero Trust-ის მოდელის მნიშვნელობა, ადამიანური ფაქტორის როლი და კიბერგანათლების გაუმჯობესების აუცილებლობა. ასევე აქცენტი გაკეთებულია საერთაშორისო თანამშრომლობისა და კანონმდებლობითი რეგულირების მნიშვნელობაზე, როგორც კიბერსივრცის ეფექტიანი მართვის აუცილებელ პირობაზე.

საკვანძო სიტყვები: ინფორმაციული უსაფრთხოება, კიბერუსაფრთხოება, ციფრული ტექნოლოგიები, ხელოვნური ინტელექტი, ნივთების ინტერნეტი (IoT), Zero Trust, კიბერდაცვა, მონაცემთა დაცვა, GDPR, კიბერგანათლება, საერთაშორისო თანამშრომლობა.

1. შესავალი.

თანამედროვე ციფრულ ეპოქაში ინფორმაცია გახდა ყველაზე მნიშვნელოვანი აქტივი და რესურსი, მისი დაცვა კი არანაკლებ მნიშვნელოვანი, ვიდრე ფიზიკური უსაფრთხოება. ციფრული ტექნოლოგიების სწრაფმა განვითარებამ, ინტერნეტის ყოველგვარ პროცესში ინტეგრაციამ და მონაცემთა მოცულობის ექსპონენციალურმა ზრდამ წარმოქმნა ახალი გამოწვევები. კიბერთავდასხმები დღეს აღარ არის მხოლოდ ინდივიდუალური ჰაკერების წყურვილი, ისინი გადაიქცნენ მოწინავე, კოორდინირებულ ოპერაციებად, რომლებსაც ახორციელებენ კიბერდანაშაულის ორგანიზებული ჯგუფები და სახელმწიფოებრივი სტრუქტურები. ამ თავდასხმების მიზანია არა მხოლოდ ფინანსური მოგება, არამედ პოლიტიკური გავლენის მოხდენა, კრიტიკული ინფრასტრუქტურის დაზიანება და საზოგადოებრივი აზრის მანიპულირება.

ზემოხსენებულ პირობებში, კიბერუსაფრთხოება უკვე წარმოადგენს სტრატეგიულ, სოციალურ და ეკონომიკურ პრობლემას, რომლის მართვა მოითხოვს კოორდინირებულ მოქმედებას სახელმწიფოს, ბიზნესისა და საზოგადოების თითოეული წევრის მხრიდან. ამ სტატიის მიზანია ყოვლისმომცველი ანალიზის ჩატარება ინფორმაციული უსაფრთხოების მიმდინარე მდგომარეობის, განვითარების ტენდენციებისა და იმ გამოწვევების შესახებ, რომლებიც დაკავშირებულია ახალ ტექნოლოგიებთან, ადამიანურ ფაქტორთან და გლობალურ კიბეროპერაციებთან.

2. მეთოდოლოგია.

სტატიის მოსამზადებლად გამოყენებული იქნა სამეცნიერო ლიტერატურის სისტემატიზირებული ანალიზის მეთოდი. შესწავლილი იქნა რეცენზირებული სამეცნიერო სტატიები,

სამეცნიერო-ანალიტიკური ანგარიშები და სტატისტიკური მონაცემები სანდო წყაროებიდან, როგორც კიბერუსაფრთხოების კომპანიების (Symantec, Cisco) კვლევები, საერთაშორისო ორგანიზაციების (ENISA, ITU) ანგარიშები და აკადემიური პუბლიკაციები. ასევე გამოყენებული იქნა შედარებითი ანალიზის მეთოდი, რათა შეფასდეს სხვადასხვა მიდგომების (მაგ., Zero Trust) ეფექტურობა და სინთეზის მეთოდი ახალი ტექნოლოგიების გავლენის განსაზღვრისთვის. კვლევა ეფუძნება თეორიულ ჩარჩოს, რომელიც აერთიანებს ტექნოლოგიურ, ორგანიზაციულ და სოციალურ ასპექტებს.

3. მსჯელობა.

1. ტექნოლოგიური ევოლუცია და ახალი გამოწვევები

კიბერუსაფრთხოების სისტემები დღეს უკვე შორს არის ინდივიდუალური ანტივირუსებისა და ფაირვოლებისგან. ისინი გადაიქცნენ კომპლექსურ ეკოსისტემად, რომელიც უნდა აკონტროლებდეს მილიარდობით მოწყობილობასა და მომხმარებელს.

- **ხელოვნური ინტელექტი (AI) და მანქანური სწავლა (ML):** AI ორმაგი იარაღია კიბერუსაფრთხოების სფეროში. ერთი მხრივ, ის გამოიყენება თავდასხმების ავტომატიზაციისთვის, რაც საშუალებას აძლევს მოწინააღმდეგეს შექმნას ადაპტირებადი მავნე პროგრამები, რომლებიც თავს არიდებენ ტრადიციულ დაცვას. მეორე მხრივ, AI არის უმნიშვნელოვანესი ინსტრუმენტი თავდაცვისთვის. მანქანური სწავლების ალგორითმებს შეუძლიათ გაანალიზონ უზარმაზარი მოცულობის ქსელის ტრაფიკი რეალურ დროში, ამოიცნონ ანომალიები და შეამცირონ რეაგირების დრო მილიწამებამდე. AI-ზე დაფუძნებული სისტემებს შეუძლიათ პროგნოზირება მოახდინონ მომავალი თავდასხმების ტენდენციების შესახებ, რაც უსაფრთხოების ზომებს პროაქტიულ ხასიათს აძლევს.
- **ნივთების ინტერნეტი (IoT):** IoT-ის ექსპანსიამ – განათლების სისტემებიდან და სმარტფონებიდან მედიცინის მოწყობილობებამდე და სამრეწველო კონტროლერებამდე – რადიკალურად გაზარდა თავდასხმის ზედაპირი. ამ მოწყობილობების უმრავლესობა შექმნილია ფუნქციონალურობისა და ეკონომიკური ეფექტიანობის პრიორიტეტით, და არა უსაფრთხოების მექანიზმების გათვალისწინებით. შედეგად, ისინი ხშირად ხდებიან მარტივი სამიზნეები. დაუცველი IoT მოწყობილობების გამოყენება შესაძლებელია მასშტაბური DDoS თავდასხმების (როგორც იყო Mirai-ს ბოტნეტი) განსახორციელებლად ან ფიზიკური ინფრასტრუქტურის დასაზიანებლად.
- **ბლოკჩეინი:** მიუხედავად იმისა, რომ ბლოკჩეინი ცნობილია კრიპტოვალუტების კუთხით, მისი პოტენციალი კიბერუსაფრთხოებისთვის ძალზედ მნიშვნელოვანია. მისი დეცენტრალიზებული, უცვლელი და დაშიფრული სისტემა შეიძლება გამოყენებული იქნას უსაფრთხო სერტიფიკატების მართვისთვის, იდენტობის ვერიფიკაციისთვის და მონაცემთა მთლიანობის უზრუნველსაყოფად. თუმცა, ამავე დროს, სმარტ-კონტრაქტების დაუცველობა ან ბირჟების გაურკვევლობა ქმნის ახალ უსაფრთხოების რისკებს.

2. Zero Trust-ის პარადიგმა: „არ ენდო არავის, ყველა შემოწმე“

ტრადიციული უსაფრთხოების მოდელები, რომლებიც დაფუძნებული იყო ე.წ. „ციხესიმაგრის“ კონცეფციაზე (დაცული პერიმეტრი, რომლის შიგნითაც ყველა იყო სანდო), აღარ არის ეფექტური მობილური, ღრუბლოვანი და დისტანციური მუშაობის პირობებში. Zero Trust-ის არქიტექტურა პასუხობს ამ გამოწვევებს. მისი ძირითადი პრინციპია:

- **ექსპლიციტური ვერიფიკაცია:** თითოეული მომხმარებელი, მოწყობილობა და აპლიკაცია უნდა იყოს ავტენტიფიცირებული და ავტორიზებული წვდომის მინიჭებამდე, მიუხედავად მათი მდებარეობისა (ქსელის შიგნით თუ გარეთ).
- **მინიმალური პრივილეგიის პრინციპი:** მომხმარებლებს ენიჭებათ მხოლოდ ის წვდომის უფლებები, რომლებიც მათ აბსოლუტურად აუცილებელი აქვთ დავალების შესასრულებლად.
- **დანაყოფების შექმნა (მიკროსეგმენტაცია):** ქსელი იყოფა პატარ-პატარა, იზოლირებულ სეგმენტებად, რათა თავდასხმის შემთხვევაში მისი გავრცელება შეზღუდული იყოს.

Zero Trust-ის ინტეგრაცია საშუალებას აძლევს ორგანიზაციებს მკაცრად აკონტროლონ თავიანთი ინფრასტრუქტურა და მნიშვნელოვანად შეამცირონ მონაცემთა გაჟონვის ან სხვა სახის კიბერთავდასხმების რისკი.

3. ადამიანური ფაქტორი: ყველაზე სუსტი რგოლი

ტექნოლოგიური მიღწევების მიუხედავად, ადამიანური ფაქტორი კვლავ რჩება ერთ-ერთ ყველაზე დიდ საფრთხედ. სოციალური ინჟინერიის თავდასხმები, როგორცაა ფიშინგი, დამოკიდებულია არა სისტემების დაუცველობაზე, არამედ მომხმარებელთა უცოდინარობასა და უყურადღებობაზე. ერთი მომხმარებლის მიერ საექვო ბმულზე დაწკაპუნებამ ან პაროლის გაჟონვამ შეიძლება მთელი ორგანიზაციის დაცვის სისტემა გაანადგუროს. აქედან გამომდინარე, კიბერგანათლება ხდება არა მხოლოდ რეკომენდაცია, არამედ სტრატეგიული აუცილებლობა. რეგულარული ტრენინგები, ფიშინგის სიმულაციები და უსაფრთხოების კულტურის ჩამოყალიბება თანამშრომელთა შორის არანაკლებ მნიშვნელოვანია, ვიდრე ტექნიკური ინვესტიციები.

4. რეგულაციური ჩარჩო და საერთაშორისო თანამშრომლობა

კიბერსივრცე არ აღიარებს სახელმწიფო საზღვრებს, რაც აქცევს კიბერუსაფრთხოებას გლობალურ პრობლემად. ამ გამოწვევის მოსაგვარებლად აუცილებელია საერთაშორისო თანამშრომლობა და ერთიანი სტანდარტების შემუშავება.

- **GDPR (General Data Protection Regulation):** ევროკავშირის მიერ დანერგილი GDPR იქცა გლობალურ ბენჩმარკად მონაცემთა დაცვის სფეროში. ის ადგენს მკაცრ წესებს პერსონალური მონაცემების შეგროვების, დამუშავების და შენახვისთვის და აწესებს მნიშვნელოვან ჯარიმებს მათი დარღვევისთვის. ეს აიძულებს კომპანიებს სერიოზულად მიუდგნენ ინფორმაციულ უსაფრთხოებას.
- **სახელმწიფოთაშორისი თანამშრომლობა:** მთავრობები სულ უფრო აქტიურად თანამშრომლობენ ერთმანეთთან ინფორმაციის გაცვლის, საერთო საფრთხეების იდენტიფიცირების და კიბერდანაშაულის წინააღმდეგ ბრძოლის მიზნით. შექმნილია რეგიონალური და საერთაშორისო ორგანიზაციები (როგორცაა ENISA, NATO-ს კიბერგანათლების ცენტრი), რომლებიც ხელს უწყობენ ამ თანამშრომლობას.

4. შედეგები.

კვლევისა და ანალიზის შედეგად გამოვლინდა შემდეგი ძირითადი პუნქტები:

1. კიბერუსაფრთხოება გადაიქცა სტრატეგიულ პრიორიტეტად სახელმწიფოს, ბიზნესისა და საზოგადოებისთვის, რომელიც პირდაპირ კავშირშია ეროვნულ უსაფრთხოებასთან და ეკონომიკურ სტაბილურობასთან.

2. ახალმა ტექნოლოგიებმა (AI, IoT, ბლოკჩეინი) შექმნეს როგორც ახალი შესაძლებლობები დამცველებისთვის, ასევე ახალი, უფრო დახვეწილი საფრთხეები თავდამსხმელე-ბისთვის.
3. Zero Trust-ის არქიტექტურა წარმოადგენს ეფექტურ პასუხს თანამედროვე, ჰიბრიდული გარემოს გამოწვევებზე, რომელიც ცვლის ტრადიციულ პერიმეტრზე დაფუძნებულ მიდგომებს.
4. ადამიანური ფაქტორი კვლავ რჩება კრიტიკულად მნიშვნელოვან ასპექტად, ხოლო კიბერგანათლების დონის ამაღლება აუცილებელი პირობაა უსაფრთხოების საერთო დონის გასაზრდელად.
5. ეფექტიანი კიბერუსაფრთხოების უზრუნველსაყოფად აუცილებელია გლობალური თანამშრომლობა, ერთიანი სტანდარტების დანერგვა და კანონმდებლობის განვითარება.

5. დასკვნა.

ინფორმაციული უსაფრთხოება და კიბერუსაფრთხოების განვითარება არის მუდმივი და დინამიური პროცესი, რომელიც მოითხოვს მრავალფაქტორიან მიდგომას. ტექნოლოგიური ინოვაციები, როგორიცაა ხელოვნური ინტელექტი და Zero Trust-ის მოდელი, გვაძლევს მძლავრ ინსტრუმენტებს ახალი კიბერსაფრთხეების გასამკლავებლად. თუმცა, ტექნოლოგია აღნიშნული პრობლემების მხოლოდ ერთი ნაწილია.

რეალური წინსვლა შეუძლებელია ადამიანის ცნობიერების ამაღლების, უწყვეტი განათლებისა და უსაფრთხოების კულტურის ჩამოყალიბების გარეშე. პარალელურად, კიბერ-სივრცის გლობალური ბუნება მოითხოვს საერთაშორისო თანამშრომლობის გაძლიერებას და კანონმდებლობის ადაპტაციას ახალ რეალობასთან.

მომავალში, ციფრული უსაფრთხოება კვლავ დარჩება გლობალური ყურადღების ცენტრში. როგორც ჩვენი ციფრული ინფრასტრუქტურა განვითარდება, დაცვაც უნდა იყოს არა მხოლოდ რეაქტიული, არამედ პროაქტიული, ადაპტირებადი და ყოველთვის ერთი ნაბიჯით წინ. მხოლოდ ტექნოლოგიის, განათლებისა და კოოპერაციის სინერგიას შეუძლია უზრუნველყოს უსაფრთხო და მდგრადი ციფრული მომავალი.

გამოყენებული ლიტერატურა:

1. საქართველოს კანონი ინფორმაციული უსაფრთხოების შესახებ - <https://matsne.gov.ge/document/view/1679424?publication=8>
2. კიბერუსაფრთხოების სფეროში ცნობიერების ამაღლების 2025-2030 წლების სტრატეგია - <https://dga.gov.ge/files/mUMPR8s3w59z.pdf>
3. European Union Agency for Cybersecurity (ENISA). (2023). ENISA Threat Landscape 2023.
4. National Institute of Standards and Technology (NIST). (2020). Framework for Improving Critical Infrastructure Cybersecurity, Version 1.1.
5. Rose, S., Borchert, O., Mitchell, S., & Connelly, S. (2020). Zero Trust Architecture. NIST Special Publication 800-207.
6. Cisco. (2023). Cisco Annual Internet Report (2018–2023).
7. European Parliament and Council of the European Union. (2016). Regulation (EU) 2016/679 (General Data Protection Regulation - GDPR).

Development of Information Security and Cybersecurity

Otar Shonia, Luka Shonia, Levan Kolbaia

Georgian Technical University

o.shonia@gtu.ge, shonia@gtu.ge, levank34@gmail.com

Abstract

The paper discusses current trends, challenges and future prospects in the development of information security and cybersecurity. In the context of digital transformation, when all aspects of our lives have become dependent on information technologies, cybersecurity goes beyond the usual scope of a technical discipline and becomes an issue of strategic, economic and social importance. The article analyzes the impact of new technologies (Artificial Intelligence, Internet of Things, Blockchain) on the security landscape, discusses the importance of the Zero Trust model, the role of the human factor and the need to improve cyber education. Emphasis is also placed on the importance of international cooperation and legislative regulation as a necessary condition for effective management of cyberspace.

Keywords: Information Security, Cybersecurity, Digital Technologies, Artificial Intelligence, Internet of Things (IoT), Zero Trust, Cyber Defense, Data Protection, GDPR, Cyber Education, International Cooperation.

თანამედროვე მიდგომები IoT ეკოსისტემაში უსაფრთხოების გამლიერებისთვის

ნინო თოფურია¹, დემურ სიჭინავა², იბრაიმ დიდმანიძე³

¹საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

²ივანე ჯავახიშვილის სახელობის თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტი

³ბათუმის შოთა რუსთაველის სახელმწიფო უნივერსიტეტი

nino.topuria@gtu.ge, demur.sichinava@tsu.ge, ibraim.didmanidze@bs.edu.ge

რეზიუმე

სტატიაში განხილულია ნივთების ინტერნეტის (IoT) ეკოსისტემაში უსაფრთხოების კრიტიკული გამოწვევები და აღწერილია Microsoft Azure Sphere-ის შესაძლებლობები, რომელიც წარმოადგენს ერთ-ერთ მნიშვნელოვან პლატფორმას IoT მოწყობილობების დაცულობის უზრუნველსაყოფად. კვლევა აერთიანებს უსაფრთხოების ინოვაციურ მიდგომებს, მათ შორის Zero Trust არქიტექტურას, Cybersecurity Mesh-ს, ბლოქჩეინზე დაფუძნებულ იდენტობის მართვასა და PUF ტექნოლოგიებს, რაც ხელს უწყობს IoT ინფრასტრუქტურის მდგრადობასა და მასშტაბურობას. წარმოდგენილი ანალიზი აჩვენებს, რომ Azure Sphere-ის ინტეგრაცია Azure IoT Central-თან ამარტივებს არა მხოლოდ მოწყობილობების უსაფრთხოებას, არამედ მონაცემთა მონიტორინგსა და ოპერატიულ ანალიტიკას. შედეგად, კვლევა მიუთითებს, რომ IoT უსაფრთხოების მომავალი ეფუძნება ინტეგრირებულ მოდელს, სადაც გაერთიანებულია ხელოვნური ინტელექტი, ღრუბლოვანი სერვისები და ახალი თაობის ავთენტიფიკაციის მეთოდები.

საკვანძო სიტყვები: ნივთების ინტერნეტი (IoT), ღრუბლოვანი გამოთვლები, IoT-ის უსაფრთხოება, Azure Sphere, Azure IoT Central.

1. შესავალი

ცნობილია, რომ ციფრული ტექნოლოგიები ქმნის ახალ შესაძლებლობებს ყველა ტიპის ორგანიზაციისთვის. რეალურად, ეს არის ახალი მიდგომა, რომელიც აერთიანებს ადამიანებს, მონაცემებს და პროცესებს ერთი საერთო მიზნის მისაღწევად და უზრუნველყოფს წარმატებას ციფრულ სამყაროში. ციფრული ტრანსფორმაცია არის ბიზნეს ინოვაცია, რომელიც ემყარება ღრუბლოვანი პლატფორმას, ხელოვნურ ინტელექტს და ნივთების ინტერნეტს (IoT), რაც ორგანიზაციებს ბიზნესის მართვისა და გარდაქმნის ახალ გზებს სთავაზობს.

საწარმოთა ლიდერებმა თანდათან დაიწყეს იმის გაცნობიერება, თუ რამდენად მნიშვნელოვანია ნივთების ინტერნეტი (IoT) მათი კომპანიებისთვის. IoT-ს აქვს მუდმივი უკუკავშირი ცენტრთან და ხელს უწყობს სწორი გადაწყვეტილების მიღებას ნებისმიერ ბიზნესში. IoT პლატფორმა გარდაქმნის ისეთ ინდუსტრიებს, როგორიცაა ჯანდაცვა, ენერგეტიკა, ავტომობილები, წარმოება, ტრანსპორტი და სხვა. IoT-ი იძლევა ბიზნეს პროცესების გამლიერებისა და გადაწყვეტილებების მიღების შესაძლებლობას სენსორებით, მოწყობილობებით და პლატფორმებით. [1-3].

ნივთების ინტერნეტისა და დაკავშირებული მოწყობილობების ბაზარი სწრაფად იზრდება. მილიონობით მოწყობილობა დაკავშირებულია ღრუბელთან, ხოლო

დაკავშირებული მოწყობილობების უმთავრესი პრობლემა უსაფრთხოებაა. ჰაკერები და თავდამსხმელები იყენებენ დაუცველ მოწყობილობებს, რომლებიც დაკავშირებულია საჯარო ინტერნეტთან. ცნობილია IoT მოწყობილობის მრავალი ფაქტი.

2016 წელს Mirai-ბოტნეტმა შეაფერხა ინტერნეტის ფუნქციონირება. 2017 წელს, ლას-ვეგასის კაზინოში ინტერნეტთან დაკავშირებული თევზის ავზი გამოიყენეს მგრძნობიარე მონაცემების მოსაპარად. 2024-2025 წლებში გამოვლენილია Mirai-ბოტნეტის ახალი მოდიფიკაცია, რომელიც DVR ტიპის (ვიდეოჩანაწერების დასათვალიერებელი მოწყობილობები) სისტემებს ესხმის თავს რისთვისაც მოწყვლად და სუსტ პაროლებს იყენებს. კვლევის მიხედვით, 2024 წელს დაფიქსირდა დაახლოებით 1.7 მილიარდი თავდასხმა IoT მოწყობილობებზე, რომლებიც Mirai-სა და მასთან მსგავს ბოტნეტებს უკავშირდება. 2024 წლის ოქტომბერში Mirai-ბოტნეტის ერთმა მოდიფიკაციამ განახორციელა რეკორდულად მასშტაბური DDoS შეტევა, რომლის სიმძლავრემ 5.6 ტბ/წმ შეადგინა. თავდასხმაში დაახლოებით 13000 IoT მოწყობილობა მონაწილეობდა და ინტერნეტსერვისების მუშაობა დროებით შეაფერხა. 2025 წელს გამოვლინდა BadBox 2.0 ბოტნეტი, რომელიც ზიანს აყენებდა სმარტ-ტელევიზორებს და სხვა IoT მოწყობილობებს. მისი გამოყენება ხდებოდა DDoS თავდასხმებისთვის, თაღლითური სქემების განხორციელებისა და მომხმარებელთა მოწყობილობების არაკანონიერი პროქსი სერვერებად ქცევის მიზნით. Nokia-ს კვლევის შედეგად გამოვლენილი Eleven11bot ბოტნეტი მიზანმიმართულად იყენებდა ვებკამერებსა და ვიდეოჩანაწერების სისტემებს, განსაკუთრებით აშშ-ში, მაღალი მოცულობის DDoS შეტევების ორგანიზებისთვის. აღნიშნული შემთხვევა კიდევ ერთხელ აჩვენებს IoT მოწყობილობების მოწყვლადობის მასშტაბებს.

2. მეთოდოლოგია.

მოცემულ სტატიაში IoT უსაფრთხოების საკითხების კვლევისთვის გამოყენებულია როგორც პრაქტიკული, ისე თეორიული ანალიზის მეთოდები. ტრადიციული უსაფრთხოების მიდგომები (Firewall, VPN, ანტივირუსი) ხშირად საკმარისი არ არის, რადგან IoT გარემო გამოირჩევა: მოწყობილობების ჰეტეროგენურობით – სხვადასხვა მწარმოებლის მოწყობილობები განსხვავებული უსაფრთხოების პროტოკოლებით მუშაობენ; მონაცემთა კონფიდენციალურობით – IoT სენსორები ხშირად აგროვებენ პირად ან კომერციულ ინფორმაციას, რომლის უსაფრთხოება აუცილებელია; რეალურ დროში მოთხოვნებით – სისტემები საჭიროებს სწრაფ რეაგირებას, ამიტომ უსაფრთხოების პროცედურებმა არ უნდა შეანელონ მონაცემთა გადაცემა.

განალიზებულია უახლესი სამეცნიერო წყაროები, რომლებიც იკვლევენ IoT მოწყობილობების ავთენტიფიკაციის ახალ მეთოდებს. განხილული მიდგომები მოიცავს მსუბუქ კრიპტოგრაფიას, Zero Trust პრინციპებს, ფიზიკურად არაკოპირებადი ფუნქციების (PUF) გამოყენებას, დეცენტრალიზებულ იდენტობასა და blockchain-ზე დაფუძნებულ ავთენტიფიკაციას. ყურადღება გამახვილებულია Microsoft Azure Sphere-ის პლატფორმაზე, რომელიც აერთიანებს დაცულ SoC არქიტექტურას, ოპერაციულ სისტემას და ღრუბლოვან უსაფრთხოების სერვისს.

3. მსჯელობა.

ბოლო წლებში IoT ეკოსისტემა ინტენსიური ინტეგრაციის პროცესშია ინოვაციურ ტექნოლოგიებთან, რაც ხელს უწყობს ციფრული ტრანსფორმაციის გაღრმავებას და მას ახალი ფუნქციური შესაძლებლობებისა და მდგრადი განვითარების პერსპექტივებით ამდიდრებს. IoT

მოწყობილობების მასობრივი გავრცელების გამო უსაფრთხოება გახდა ერთ-ერთი ყველაზე კრიტიკული საკითხი. უამრავი მოწყობილობა, სენსორი და ქსელის წერტილი ერთმანეთს უკავშირდება, რაც ზრდის ქსელის იერარქიულობას და მრავალდონიან რისკებს.

განვიხილოთ თანამედროვე მიდგომები IoT ეკოსისტემაში უსაფრთხოების გაძლიერებისთვის:

Zero Trust არქიტექტურა, ეს არის პრინციპი: “არავის ენდო, ყოველთვის გადაამოწმე”. ყველა მოწყობილობა, მომხმარებელი და სერვისი მუდმივ ავთენტიფიკაციას გადის, რაც მნიშვნელოვნად ამცირებს ქსელში შეღწევის რისკს. მაგალითად, Cisco IoT Threat Defense იყენებს Zero Trust მიდგომას სმარტ ქალაქების ქსელში, უზრუნველყოფს მრავალდონიან დაშვებას და მუდმივ მონიტორინგს.

Cybersecurity Mesh, ეს არის ქსელის უსაფრთხოების განაწილებული მიდგომა, სადაც დაცვა ხდება არა მხოლოდ ცენტრალურ წერტილში, არამედ თითოეულ IoT მოწყობილობაზე. უპირატესობას წარმოადგენს ის ფაქტი, რომ ქსელის ნებისმიერი წერტილი დაცულია, რაც მნიშვნელოვანია მრავალი სხვადასხვა მოწყობილობის მქონე ინდუსტრიულ სისტემებში. მაგალითად, Microsoft Azure Sphere უზრუნველყოფს Microcontroller Units (MCU)-ების უსაფრთხოებას, სენსორების და IoT მოწყობილობების მუდმივ განახლებას, აერთიანებს მოწყობილობებს და ღრუბლოვანი უსაფრთხოებას.

შიფრაცია და უსაფრთხო კომუნიკაციები. მონაცემები IoT ქსელში უნდა იყოს დაშიფრული ბოლო წერტილამდე (end-to-end encryption), რათა დაიცვას პირადი მონაცემები და კომერციული ინფორმაცია. მაგალითად, Amazon Web Services IoT Core იყენებს TLS/SSL პროტოკოლებს მოწყობილობიდან ღრუბლამდე ინფორმაციის გადასაცემად.

რისკების მართვა და ხელოვნური ინტელექტით მართული მონიტორინგი. ხელოვნური ინტელექტი ახდენს მოწყობილობების ქცევის ანალიზს, აფიქსირებს ანომალიებს და წინასწარ აფრთხილებს შესაძლო შეტევების შესახებ. მაგალითად, Darktrace IoT იყენებს AI-სა და მანქანური სწავლების ალგორითმებს ქსელის გაუმართლებელი აქტივობის გამოვლენისთვის.

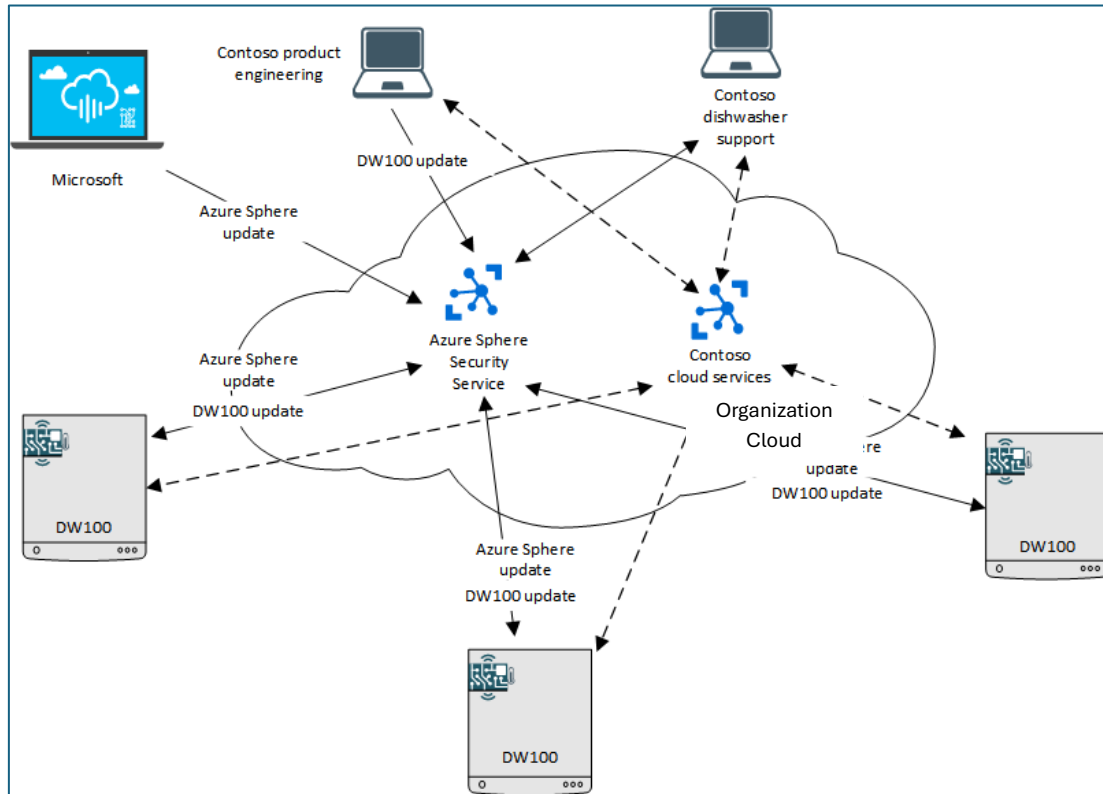
მრავალდონიანი ავთენტიფიკაცია (MFA) IoT კონტექსტში. IoT მოწყობილობები ხშირად მართავენ მნიშვნელოვან პროცესებს (მაგალითად, ენერგეტიკის ან სმარტ შენობების სისტემებს). MFA უზრუნველყოფს, რომ წვდომა მიიღონ მხოლოდ ავტორიზებულმა პირებმა.

პრაქტიკული მაგალითის სახით, განვიხილოთ ფირმა მაიკროსოფტის გადაწყვეტილება - Azure Sphere, რომელიც ქმნის სრულიად ახალ დონეს მწარმოებლებისთვის ციფრული ტრანსფორმაციის ეპოქაში შესასვლელად. ეს საშუალებას აძლევს მათ გაამახვილონ ყურადღება IoT-ზე დაფუძნებულ პროდუქტებზე, სერვისებსა და ფუნქციებზე მთელი მათი ფუნქციონირების განმავლობაში [3].

Azure Sphere - შედგება სამი კომპონენტისგან: დაცული სისტემისაგან უშუალოდ ჩიპზე (SoC), უსაფრთხო ოპერაციული სისტემისაგან და უსაფრთხო ღრუბლოვანი სერვისისაგან. სურ.1-ზე წარმოდგენილი დიაგრამა გვიჩვენებს მთლიან არქიტექტურას და როლს, რომელსაც ასრულებს Azure Sphere Security Service უფრო დიდი IoT სცენარის ფარგლებში, სადაც შესაძლებელია ათასობით Azure Sphere მოწყობილობის განთავსება.

Azure Sphere შაბლონის ტესტირება შესაძლებელია IoT Central-ის საშუალებით [4], რომელიც წარმოადგენს IoT აპლიკაციების პლატფორმას და გვამძლევს საშუალებას შევამციროთ გადაწყვეტილებების შემუშავებისა და მომსახურების ხარჯები კორპორატიულ დონეზე. მისი საშუალებით შესაძლებელია გარკვეული მოვლენების მონიტორინგი, ობიექტებზე თვალყურის დევნება და მართვა, ასევე ჩაშენებული აქვს მოწყობილობების

ანალიტიკის ფუნქციონალიც. IoT ინფრასტრუქტურის შესრულება საბოლოოდ დაეხმარება მწარმოებლებს გააძლიერონ და გააფართოვონ თავიანთი საველე სერვისები. Azure Sphere-ის ეკოსისტემა ამარტივებს პროგნოზირებადი ტექნიკური სისტემების განლაგებას, მართვას და უსაფრთხოებას [5].

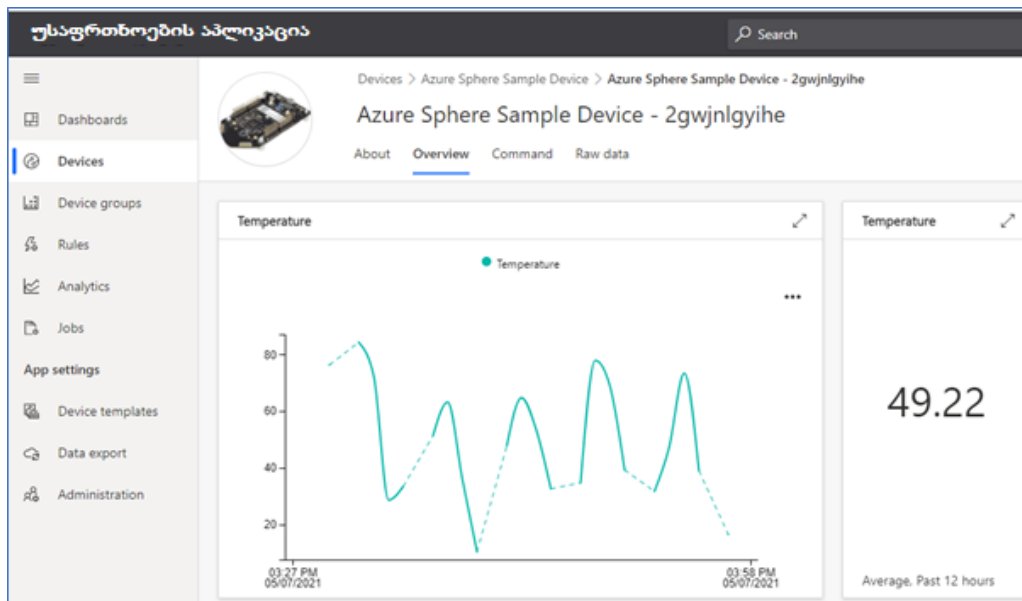


სურ. 1 Azure Sphere მოწყობილობის არქიტექტურა

მაგალითისათვის, სტატიაში წარმოდგენილია მოწყობილობის შაბლონი, რომელიც განსაზღვრავს მის შესაძლებლობებს და უკავშირდება IoT Central Application-ს. მოწყობილობის შესაძლებლობებში შედის ტელემეტრია, რომელსაც აგზავნის მოწყობილობა, ასევე ის თვისებები და ბრძანებები, რომლებზეც რეაგირებს მოწყობილობა. მოწყობილობის შაბლონის საშუალებით აპლიკაციაში შესაძლებელია როგორც რეალური, ისე სიმულაციური მოწყობილობების დამატება. იმიტირებული მოწყობილობები სასარგებლოა IoT Central Application-ის ქცევის შესამოწმებლად, სანამ მოხდება რეალურ მოწყობილობებთან დაკავშირება (ნახ.2).

მოწყობილობის შაბლონი არის გეგმა, რომელიც განსაზღვრავს მოწყობილობის ისეთ მახასიათებლებს და ქცევას, როგორიცაა:

- ტელემეტრია ანუ მონაცემების ნაკადი, რომელსაც იგი აგზავნის;
- ბიზნეს თვისებები, რომელთა შეცვლაც შეუძლია ოპერატორს;
- მოწყობილობის თვისებები, რომლებსაც ადგენს მოწყობილობა;
- ოპერატორის მიერ დადგენილი თვისებები, რომლებიც განსაზღვრავენ მოწყობილობის ქცევას;
- ბრძანებები, რომლითაც ოპერატორი მუშაობს მოწყობილობაზე.



სურ. 2 Azure Sphere-ის მუშაობის პროცესი Azure IoT Central-ის ბაზაზე

შედეგები

კვლევამ აჩვენა, რომ IoT უსაფრთხოების ეფექტიანობა იზრდება, როდესაც გამოიყენება:

- **Azure Sphere-ის ეკოსისტემა** – უსაფრთხო SoC, ოპერაციული სისტემა და ღრუბლოვანი სერვისი, რომელიც ერთიანდება IoT Central-თან;
- **Zero Trust და AI-ზე დაფუძნებული ანალიზი** – რაც ამცირებს შეტევების რისკს და ზრდის ნდობას;
- **PUF და Blockchain ავთენტიფიკაცია** – რომლებიც აუმჯობესებენ იდენტობის მართვას მცირე რესურსების მქონე მოწყობილობებშიც კი.

4. დასკვნა

IoT ეკოსისტემა განიცდის გარდაქმნას უსაფრთხოების ახალი მოდელების დანერგვით. კვლევის შედეგად დადგინდა, რომ Azure Sphere და Azure IoT Central წარმოადგენს პრაქტიკულ გადაწყვეტილებას IoT მოწყობილობების უსაფრთხოებისთვის, ხოლო ინოვაციური მიდგომები (Zero Trust, Blockchain, AI) ქმნის საფუძველს IoT-ის მდგრადი განვითარებისათვის. მომავლის პერსპექტივაში აუცილებელია მეტი კვლევა მსუბუქ კრიპტოგრაფიაზე, AI-ზე დაფუძნებულ ანომალიების აღმოჩენაზე და დეცენტრალიზებულ ავთენტიფიკაციაზე, რათა მოხდეს IoT ინფრასტრუქტურის მასშტაბური და უსაფრთხო ინტეგრაცია სხვადასხვა ინდუსტრიაში.

მომავლის პერსპექტივაში, IoT სისტემები სულ უფრო მეტად გადაიქცევა ინტეგრირებულ პლატფორმებად, სადაც გაერთიანდება ხელოვნური ინტელექტი, ღრუბლოვანი სერვისები, ბლოქჩეინი და 5G კომუნიკაციები. ამ პროცესში ცენტრალური ადგილი უჭირავს უსაფრთხოებას, მდგრად განვითარებასა და მოქნილი სერვისების მიწოდებას. კონკრეტულ სფეროებში, როგორცაა ინდუსტრიული ავტომატიზაცია, სმარტ ქალაქები და ენერგეტიკა. უკვე ჩანს რეალური შედეგები: უფრო მაღალი ეფექტიანობა, შემცირებული დანაკარგები და ეკოლოგიურად სუფთა გადაწყვეტილებები. სწორედ ასეთი სინთეზური მიდგომები განსაზღვრავს ორგანიზაციების ციფრული ტრანსფორმაციის წარმატებას და ქმნის ბაზას ინოვაციური ეკონომიკისთვის.

გამოყენებული ლიტერატურა:

1. O. Shonia, N.Topuria, K. Kulijanovi, Collect and Analyse Log Data with Cloud Services, მოამბე საქართველოს მეცნიერებათა აკადემია, N3, v15, 2021.
2. ნ. თოფურია, დ. სიჭინავა, თ. ხატიაშვილი, ინფორმაციის უსაფრთხოების დაცვა ორგანიზაციის ციფრული ტრანსფორმაციის დროს, საერთ. სამეცნ.- პრაქტიკული კონფერენცია: „ინოვაციები და თანამედროვე გამოწვევები 2022“ სამეცნიერო შრომათა კრებული, 2022.
3. ნ. თოფურია, ბიზნეს-პროცესების ავტომატიზაცია Sharepoint Server-ის ბაზაზე. მონოგრაფია, სტუ, თბილისი, 2017. ISBN 978-9941-20-912-3.
4. Azure IoT Central documentation, <https://docs.microsoft.com/en-us/azure/iot-central>
5. What is Azure Sphere?, <https://learn.microsoft.com/en-us/azure-sphere/product-overview/what-is-azure-sphere>

Contemporary Approaches to Enhancing Security in the IoT Ecosystem

Nino Topuria¹, Demur Sichinava,² Ibraim Didmanidze³

¹Georgian Technical University

²Ivane Javakhishvili Tbilisi State University

³Batumi Shota Rustaveli State University of Batumi

nino.topuria@gtu.ge, demur.sichinava@tsu.ge, ibraimd@mail.ru

Abstract

This article addresses critical security challenges within the Internet of Things (IoT) ecosystem and highlights the capabilities of Microsoft Azure Sphere as a robust platform for safeguarding IoT devices. The study synthesizes contemporary security approaches, including Zero Trust architecture, Cybersecurity Mesh, blockchain-based identity management, and Physically Unclonable Function (PUF) technologies, to enhance both the resilience and scalability of IoT infrastructures. The findings demonstrate that integrating Azure Sphere with Azure IoT Central streamlines device security management while enabling comprehensive data monitoring and real-time operational analytics. Overall, the analysis underscores that the future of IoT security depends on an integrated framework combining artificial intelligence, cloud services, and next-generation authentication mechanisms, thereby providing a holistic strategy for securing complex, large-scale IoT deployments.

Key words: Internet of Things (IoT), cloud computing, IoT security, Azure Sphere, Azure IoT Central.

სამშენებლო კომპანიაში ბინების ფასების დინამიკის განსაზღვრა პროგრამა STATISTICA-ის გამოყენებით

ია მოწყობილი¹, ირმა ტაკიძე², ინგა სურმანიძე²

¹ათუმის შოთა რუსთაველის სახელმწიფო უნივერსიტეტი

²ბათუმის სახელმწიფო საზღვაო აკადემია

ia.motskobili@bsu.edu.ge, i.takidze@bsma.edu.ge, i.surmanidze@bsma.edu.ge

რეზიუმე

ნაშრომში განხილულია ბათუმის უძრავი ქონების ბაზარი, რომელიც ხასიათდება მაღალი დინამიკითა და მზარდი მოთხოვნით, რაც ბინების ფასების სტატისტიკურ ანალიზს განსაკუთრებით აქტუალურს ხდის. კვლევა დაფუძნებულია 153 ბინაზე შეგროვებულ მონაცემებზე და განხილულია ისეთი ფაქტორები, როგორიცაა ფართობი, ფასი კვადრატულ მეტრზე, ჯამური ფასი, სართული, ოთახების რაოდენობა, კომფორტი და გეოგრაფიული მდებარეობა. **STATISTICA** პროგრამის გამოყენებით დადგინდა ფასებზე მოქმედი ძირითადი ტენდენციები და კავშირები, რის შედეგადაც მიღებული დასკვნები შეიძლება პრაქტიკულად გამოსადეგი იყოს მყიდველებისთვის, ინვესტორებისთვის და დეველოპერებისთვის.

საკვანძო სიტყვები: უძრავი ქონება, ბათუმი, ბინების ფასები, სტატისტიკური ანალიზი, ფართობი, მოთხოვნა, ინვესტიცია.

1. შესავალი.

დღესდღეობით უძრავი ქონების ბაზარი ერთ-ერთ ყველაზე აქტიურ და დინამიკურ სექტორს წარმოადგენს, განსაკუთრებით ტურისტულად განვითარებულ ქალაქებში. ამ კონტექსტში ბათუმი ერთ-ერთ მთავარ ცენტრად იქცა, სადაც ბინებზე მოთხოვნა მუდმივად იზრდება როგორც ადგილობრივ, ისე უცხოელ მყიდველებს შორის. სწორედ ამის გამო, ბათუმის ბინების ფასების ანალიზი აქტუალურ და პრაქტიკულად გამოსადეგ კვლევით თემად გვევლინება.

ბათუმში ბინის ფასზე მრავალი ფაქტორი მოქმედებს, მათ შორის ყველაზე მნიშვნელოვანი გეოგრაფიული მდებარეობა, ფართობი, ოთახების რაოდენობა, სართული და კომფორტულობის დონეა. მყიდველებისა და ინვესტორებისთვის მნიშვნელოვანია გაანალიზონ, როგორია ფასების ცვალებადობა უბნებს შორის და კონკრეტული მახასიათებლების ცვლილება რამდენად ახდენს გავლენას ბინის ღირებულებაზე.

ნაშრომის მიზანია, შესრულდეს ბათუმში ბინების ფასების სტატისტიკური ანალიზი **STATISTICA** პროგრამის გამოყენებით. კვლევა ეფუძნება რეალურ მონაცემებს, რომლებიც მოიცავს ბინების სხვადასხვა პარამეტრებს და ფასს. მონაცემთა ბაზის საფუძველზე შეფასდება, არსებობს თუ არა უბნებს შორის მნიშვნელოვანი განსხვავება კვადრატულ მეტრზე ფასში, როგორია ფართობისა და ფასთან კავშირი და რომელი მახასიათებლები ახდენს ფასზე არსებით გავლენას.

განსაკუთრებული ყურადღება ეთმობა ფასის განაწილების შესწავლას და ფასის დინამიკის ვიზუალიზაციას, რაც რელევანტურობას მატებს როგორც თეორიულ, ისე პრაქტიკულ დონეზე. კვლევის შედეგები მნიშვნელოვანი იქნება არა მხოლოდ ეკონომიკური ანალიზისთვის, არამედ უძრავი ქონების დაგეგმვისა და პოლიტიკის განსაზღვრის პროცესებისთვისაც.

ნაშრომის მიზანია, გამოვავლინოთ ის ფაქტორები, რომლებიც მოქმედებს ბათუმში ბინების ფასზე, და განვიხილოთ, რამდენად განსხვავდება ფასები სხვადასხვა უბანსა და ფართობის პარამეტრებზე დაყრდნობით. კვლევა ემყარება რეალურ მონაცემებს და მიზნად ისახავს ფასის დინამიკის ანალიზს როგორც კვადრატულ მეტრზე, ისე მთლიან ბინებზე.

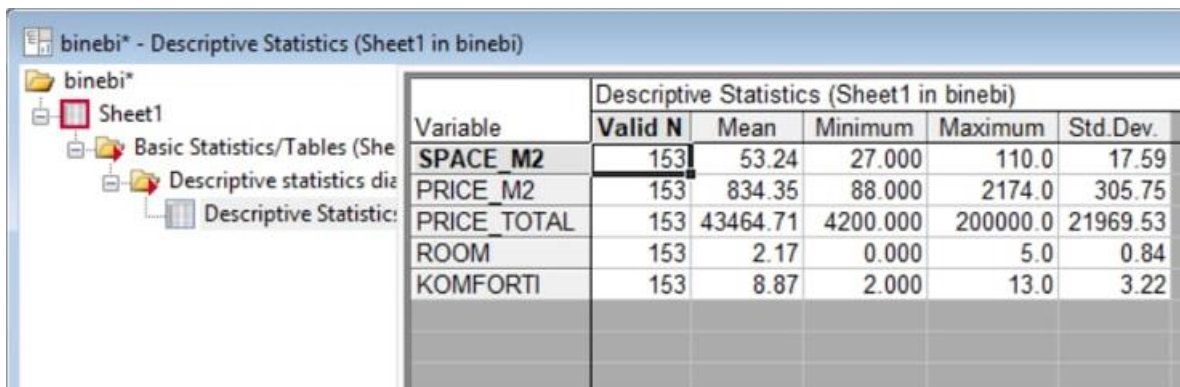
მთავარი ამოცანებია:

- შეფასდეს ბინების ფასების განაწილება და ტენდენციები;
- გამოჩნდეს კავშირი ფართობსა და ფასს შორის ვიზუალური და სტატისტიკური საშუალებებით;
- მონაცემთა ანალიზის საფუძველზე ჩამოყალიბდეს დასკვნები, რომლებიც დაეხმარება დაინტერესებულ მხარეებს (მყიდველებს, ინვესტორებს, დეველოპერებს) ინფორმირებულ გადაწყვეტილებების მიღებაში.

სამშენებლო კომპანიების ბინების ფასების სტატისტიკური ანალიზისთვის გამოყენებულია ელექტრონული პროგრამა **STATISTICA**, რომელიც საშუალებას იძლევა მონაცემები სიღრმისეულად დავამუშავოთ და ვიზუალურად გამოვხატოთ [1]. კვლევისთვის შერჩეული იქნა ძირითადი სტატისტიკური მეთოდი, რომლებიც მიზანმიმართულად შეირჩა მონაცემების ბუნებისა და კვლევის მიზნებიდან გამომდინარე.

შესწავლისთვის გამოყენებული მონაცემთა ბაზა შედგება **153 ბინისგან**, რომლებიც აღწერილია რამდენიმე ძირითადი მახასიათებლით. მონაცემები მოიცავს შემდეგ ცვლადებს:

- **SPACE_M2** – ბინის ფართობი კვადრატულ მეტრებში
- **PRICE_M2** – ფასი 1 მ²-ზე
- **PRICE_TOTAL** – ბინის საერთო (ჯამური) ფასი
- **ROOM** – ოთახების რაოდენობა
- **FLOOR** – სართული
- **KOMFORT** – კომფორტულობის ხარისხი
- **LOCATION** – ბინის გეოგრაფიული მდებარეობა (კოდირებული უბნებით)



Variable	Valid N	Mean	Minimum	Maximum	Std.Dev.
SPACE_M2	153	53.24	27.000	110.0	17.59
PRICE_M2	153	834.35	88.000	2174.0	305.75
PRICE_TOTAL	153	43464.71	4200.000	200000.0	21969.53
ROOM	153	2.17	0.000	5.0	0.84
KOMFORTI	153	8.87	2.000	13.0	3.22

სურ.1. მონაცემთა ბაზის ფრაგმენტი

აღნიშნული ბაზა იძლევა საშუალებას შეფასდეს ფასების დინამიკა ფართობის, ოთახების რაოდენობისა და კომფორტის მაჩვენებლის მიხედვით, ასევე იმაზე დასაკვირვებლად, თუ როგორ იცვლება ბინის ფასები სხვადასხვა უბანში.

კვლევის ფარგლებში ჩატარებული აღწერითი სტატისტიკა ცხადყოფს ბათუმში ბინების ფასების განაწილებისა და ძირითადი მახასიათებლების საერთო სურათს [2].

Frequency table: LOCATION (Sheet1 in binebi)						
K-S d=.21865, p<.01 ; Lilliefors p<.01						
Category	Count	Cumulative Count	Percent of Valid	Cumul % of Valid	% of all Cases	Cumulative % of All
.500000<x<=1.000000	49	49	32.02614	32.0261	32.02614	32.0261
1.000000<x<=1.500000	0	49	0.00000	32.0261	0.00000	32.0261
1.500000<x<=2.000000	51	100	33.33333	65.3595	33.33333	65.3595
2.000000<x<=2.500000	0	100	0.00000	65.3595	0.00000	65.3595
2.500000<x<=3.000000	31	131	20.26144	85.6209	20.26144	85.6209
3.000000<x<=3.500000	0	131	0.00000	85.6209	0.00000	85.6209
3.500000<x<=4.000000	22	153	14.37908	100.0000	14.37908	100.0000
Missing	0	153	0.00000		0.00000	100.0000

სურ.2. ბინების ფასების განაწილებისა და ძირითადი მახასიათებლების საერთო სურათი

როგორც ვხედავთ, რომ ბინების **საშუალო ფართობი** შეადგენს **53.24 მ²**, მინიმუმით 27.0 მ² და მაქსიმუმით 110.0 მ². ეს მიუთითებს, რომ შერჩეულ ბაზაში ძირითადად შედარებით პატარა და საშუალო ზომის ბინებია წარმოდგენილი. ფართობის სტანდარტული გადახრა შეადგენს **17.59**, რაც საკმაოდ ზომიერი ცვალებადობის მაჩვენებელია.

1 მ²-ზე ფასის (PRICE_M2) საშუალო მნიშვნელობა არის **834.35 ლარი**, მინიმუმით 88 ლარი და მაქსიმუმით 2174 ლარი. ასეთად გამოხატული მინიმალური და მაქსიმალური მნიშვნელობების მაღალი სხვაობა მიუთითებს ბაზრის მრავალფეროვნებაზე, რაც შესაძლოა ასახავდეს ბინების მდებარეობის, სარემონტო მდგომარეობის ან სხვა მახასიათებლების განსხვავებას. სტანდარტული გადახრა – **305.75** – საკმაოდ მაღალია, რაც კიდევ ერთხელ ადასტურებს ფასების დიდ ცვალებადობას.

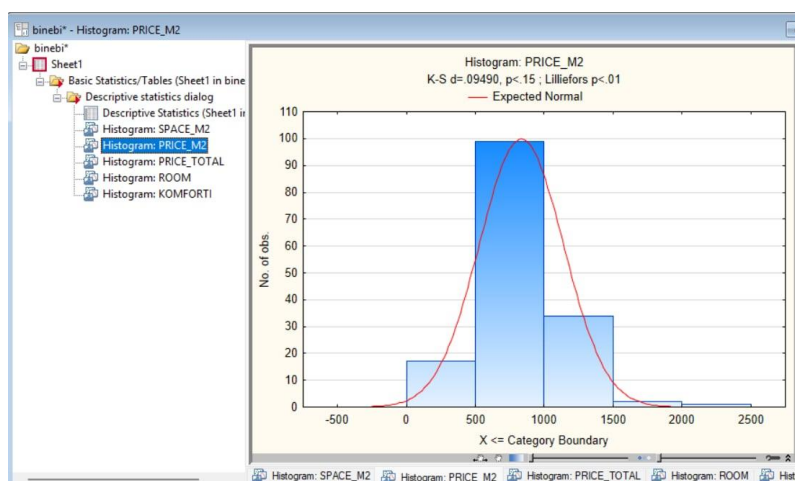
მთლიანი ფასის (PRICE_TOTAL) საშუალო მაჩვენებელი შეადგენს **43,464.71 ლარს**, მინიმალური მნიშვნელობით 4,200 ლარი და მაქსიმალურით 200,000 ლარი. სტანდარტული გადახრა კი შეადგენს **21,969.53 ლარს**, რაც კიდევ ერთხელ მიგვითითებს მაღალ განსხვავებას ბინების ჯამურ ღირებულებებს შორის.

ოთახების რაოდენობის საშუალო სტატისტიკური მაჩვენებელი არის **2.17**, რაც მეტყველებს, რომ უმეტესობა ბინებისა არის 2 ან 3-ოთახიანი. მინიმალური მნიშვნელობა – 0 ოთახი – შესაძლოა მიუთითებდეს მონაცემებში არსებულ უზუსტობაზე ან სტუდიო ტიპის ბინაზე. მაქსიმუმი კი 5 ოთახია.

კომფორტულობის (KOMFORT) ინდექსი საშუალოდ შეადგენს **8.87**, მინიმუმით 2 და მაქსიმუმით 13. სტანდარტული გადახრა 3.22 მიუთითებს გარკვეულ ცვალებადობაზე, რაც, შესაძლოა, ასახავდეს სხვადასხვა დონის სარემონტო მდგომარეობასა და ბინების აღჭურვილობას.

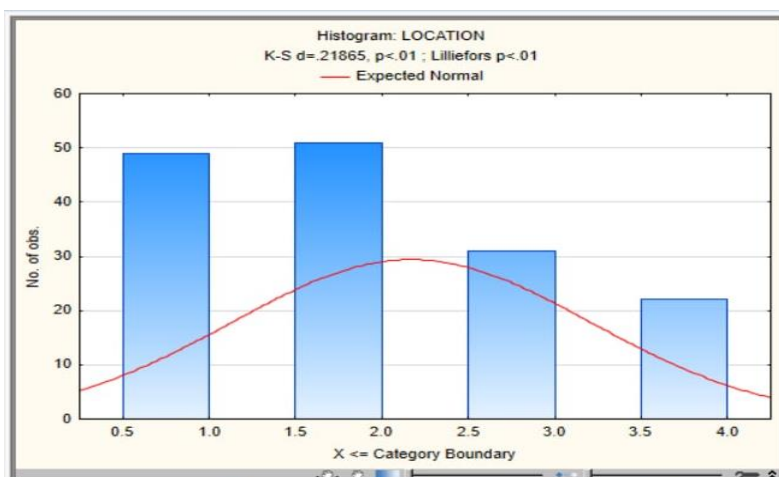
LOCATION ცვლადის ანალიზმა აჩვენა, რომ ბინები განაწილებულია 4 განსხვავებულ უბანში. ყველაზე მეტი ბინა მოდის **უბან 3-ზე (33.3%)** და **უბან 1-ზე (32.0%)**, რაც ერთად ბაზის ორ მესამედზე მეტს წარმოადგენს. შედარებით ნაკლები რაოდენობაა **უბან 5-ში (20.3%)** და განსაკუთრებით დაბალია **უბან 7-ში (14.4%)**.

ეს მონაცემები ასახავს, რომ კვლევაში წარმოდგენილია განსხვავებული ტიპის უბნები, თუმცა გარკვეული დომინანტურობა მაინც ჩანს ქალაქის ცენტრალური ან აქტიური ზონების მხრიდან[3].



სურ.3.

PRICE_M2-ის (კვ.მ-ზე ფასი) შედეგებზე აგებულმა ჰისტოგრამამ აჩვენა, რომ მონაცემები ნაწილობრივ ემთხვევა ნორმალურ განაწილებას, თუმცა შეინიშნება მცირე გადახრა მარჯვნივ. უმრავლესობა დაკვირვებების მოდის 500–1000 ლარის დიაპაზონში. გამოყენებულ მეთოდს აქვს Kolmogorov–Smirnov ტესტი, სადაც გვაქვს შემდეგი შედეგი: $d = 0.09490$, $p < 0.15$, ხოლო Lilliefors ტესტმა მოგვცა შედეგი: $p < 0.01$. ეს შედეგები მიანიშნებს, რომ PRICE_M2-ს განაწილება გარკვეულწილად განსხვავდება ნორმალურისგან.



სურ.3.

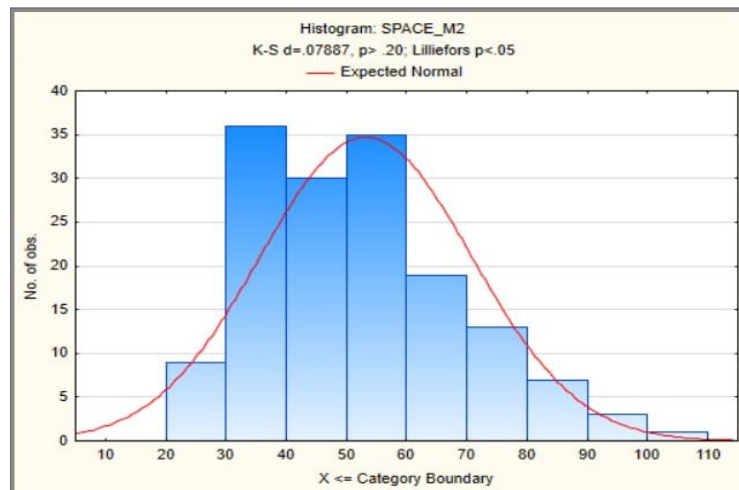
გამოყენებული ბაზის შედეგად მიღებული შედეგების მიხედვით აგებულია ადგილმდებარეობის (ლოკაციის) ჰისტოგრამა [4].

ჰისტოგრამიდან ხდება, განაწილება არ არის ნორმალური — რაც დასტურდება K-S ტესტით ($K-S d = 0.21865$, $p < 0.01$) და Lilliefors $p < 0.01$.

ინტერპრეტაცია:

- ბინების რაოდენობა მეტია 1 და 2 კოდით განსაზღვრულ ადგილებში.
- ყველაზე ნაკლები ბინებია კოდით 4 განსაზღვრულ ტერიტორიაზე.

განაწილება ასიმეტრიულია მარცხნივ (მეტი ბინა შედარებით ცენტრალურ ან პოპულარულ უბნებშია). ცხადია, ადგილმდებარეობას მნიშვნელოვანი გავლენა აქვს ბინის განაწილებაზე ბაზაში.



სურ.4.

PRICE_M2 ჰისტოგრამიდან ვხედავთ, განაწილება თითქმის ნორმალურია.

- K-S ტესტის მნიშვნელობა ($K-S\ d = 0.07887$, $p > 0.2$) მიუთითებს, რომ ნორმალურ განაწილებასთან შეუსაბამობა სტატისტიკურად არ არის მნიშვნელოვანი.
- თუმცა Lilliefors ტესტი მაინც აჩვენებს $p < 0.05$ — რაც ნიშანია იმისა, რომ შეიძლება იყოს მცირე გადახრები.

ინტერპრეტაცია:

- უმეტესობა ბინებისა 40–60 მ² ფარგლებშია.
- მარცხნივ მხარეს მყოფი "კუდი" მიანიშნებს მცირე რაოდენობის ძალიან დიდი ფართის ბინებზე.

3. დასკვნა.

ბათუმის უძრავი ქონების ბაზრის ანალიზმა ცხადყო, რომ ბინის კვადრატული მეტრის ფასზე ყველაზე მნიშვნელოვანი გავლენა აქვს ლოკაციას, ფართობის გავლენა შედარებით სუსტია. ლოკაციის ინდექსის ზრდა, როგორც წესი, გულისხმობს გადაადგილებას ქალაქის ცენტრიდან პერიფერიებისკენ, იწვევს ბინის კვ.მ-ზე ფასის მნიშვნელოვნად შემცირებას. ეს მტკიცედ მიუთითებს იმაზე, რომ ცენტრალურ უბნებში ბინები გაცილებით ძვირია, ვიდრე გარეუბნებში.

რაც შეეხება ფართობს, მიუხედავად იმისა, რომ ფართობი პირდაპირ ზრდის ბინის საერთო ფასს, მისი გავლენა კვადრატული მეტრის ფასზე არ არის არსებითად მნიშვნელოვანი. რაც აისახა სუსტი უარყოფითი კორელაციით ფართობსა და კვ.მ-ის ფასს შორის.

ამრიგად, კვლევამ დაადასტურა, რომ ლოკაცია არის გადამწყვეტი ფაქტორი კვადრატულ მეტრზე ფასის ფორმირებაში, ხოლო ფართობის გავლენა ფასზე ამ ფორმით მეტად შეზღუდულია.

გამოყენებული ლიტერატურა:

1. Field, A. (2018). *Discovering Statistics Using IBM SPSS Statistics*. Sage Publications.
2. Montgomery, D. C., & Runger, G. C. (2014). *Applied Statistics and Probability for Engineers*. Wiley.
3. Agresti, A. (2019). *Statistical Methods for the Social Sciences*. Pearson
4. STATISTICA Software Documentation. (2013). StatSoft Inc.
5. Taggart., G. &. (2023). საქართველოს უძრავი ქონების ბაზრის მიმოხილვა.
6. ზაზაძე, თ. (2018). *მონაცემთა ანალიზი და სტატისტიკა*. თბილისი: უნივერსიტეტის გამომცემლობა.

Determining the dynamics of apartment prices in a construction company using the STATISTICA software

Ia Motskobili¹, Irma Takidze², Inga surmanidze²

¹Batumi Shota Rustaveli State University

²Batumi State Maritime Academy

ia.motskobili@bsu.edu.ge, i.takidze@bsma.edu.ge, i.surmanidze@bsma.edu.ge

Abstract

The real estate market in Batumi has emerged as one of the most dynamic sectors, characterized by growing demand from both local and foreign buyers. This study aims to identify the key factors affecting apartment prices and to perform a statistical analysis using the STATISTICA software. The dataset covers 153 apartments described by parameters such as area (m²), price per square meter, total price, number of rooms, floor, comfort level, and geographical location. The analysis revealed notable variations in prices across districts and significant correlations between apartment characteristics and overall value. The results are relevant for economic analysis as well as for practical decision-making by buyers, investors, and developers.

Keywords: Real Estate, Batumi, Housing Prices, Statistical Analysis, Area, Demand, Investment.

Bypassing F5 WAF for Data Exfiltration during Post-Exploitation

Avtandili Bichnigauri, Luka Shonia, Ilia Shonia

Georgian Technical University

bichnigauri_av@gtu.ge, shonia@gtu.ge, iliashoniafr@gmail.com

Abstract

The post-exploitation phase of a cyberattack is where adversaries achieve their ultimate objectives, often centered on the exfiltration of sensitive data. While Web Application Firewalls (WAFs), such as those from F5 Networks, serve as a critical defense layer, their reliance on static, signature-based detection can present a significant vulnerability. This article explores a practical methodology for bypassing F5 WAF protections to enable data exfiltration after an initial compromise. The technique involves a multi-layer encoding scheme (Base64, Reversal, and Hexadecimal encoding) applied to both the attacker's commands within the HTTP request and the stolen data within the HTTP response. This process effectively obfuscates malicious payloads from static rule sets. We detail the step-by-step methodology, discuss the inherent limitations of static analysis in WAFs, and present potential solutions for defenders, including dynamic analysis, parameter validation, and behavioral anomaly detection. The conclusion underscores the evolving threat landscape and proposes future research directions, such as employing custom encryption and asymmetric cryptography for more sophisticated evasion.

Keywords: Data Exfiltration, Post-Exploitation, F5 WAF, Web Application Firewall Bypass, Encoding, Obfuscation, Cybersecurity, Command and Control, C2, Static Analysis, Dynamic Analysis, SIEM, IDS/IPS.

1. Introduction.

In the modern cyber threat landscape, the initial compromise of a system is often merely the opening act. The true damage occurs during the **post-exploitation** phase, where attackers leverage their foothold to achieve malicious goals, primarily **data exfiltration**. Data exfiltration is the unauthorized transfer of sensitive information - such as intellectual property, financial records, or personal identifiable information (PII) from a victim's network to an attacker-controlled server. This can be executed through various vectors, including outbound emails, downloads to insecure devices, or direct uploads over network protocols.

To defend against such attacks, organizations deploy security controls like the F5 Web Application Firewall (WAF). The F5 WAF operates as a filter between a web application and the internet, inspecting HTTP/S traffic for known attack patterns, such as SQL injection (SQLi) commands, cross-site scripting (XSS) tags, or system commands. Its primary functionality is to block requests containing these malicious signatures in the URL, headers, or body.

However, a significant challenge exists: many WAFs, including legacy or misconfigured F5 deployments, rely heavily on **static rule sets**. They check for predefined patterns but often lack the context to understand the intent behind an obfuscated payload. This paper presents a methodology demonstrating how an attacker, having already gained a foothold on a web server (e.g., through a vulnerable web application), can bypass F5 WAF's static rules to execute commands and exfiltrate data by strategically encoding the entire communication channel.

2. Methodology.

This methodology assumes the attacker has already achieved initial code execution on the target server, for instance, via a remote file inclusion (RFI) or a deserialization vulnerability. The goal is to interact with the underlying operating system to locate and exfiltrate sensitive data without triggering the F5 WAF. The core of the bypass technique lies in the dual-layer obfuscation of both the outgoing commands and the incoming data.

1. Bypassing the HTTP Request with Multi-Layer Encoding

An attacker cannot simply send a command like `"cat /etc/passwd"` in a POST request, as the WAF will easily flag and block it. Instead, the command must be disguised.



Oops! Something went wrong.

The requested resource could not be accessed at this time.

If you believe this is an error, please contact support and provide the following reference ID:

Ref ID: 1545430518 [redacted]

[Go Back](#)

1. **Command Execution:** The attacker aims to run a system command, such as `"cat /etc/passwd"`, to list files in a sensitive directory.

2. **Encoding Pipeline:** The command is passed through an encoding pipeline on the attacker's machine before being sent to the compromised server.

- **Step 1: Base64 Encode:** The command `"cat /etc/passwd"` is first Base64 encoded.

- Result: `"Y2F0IC9ldGMvcGFzc3dk"`

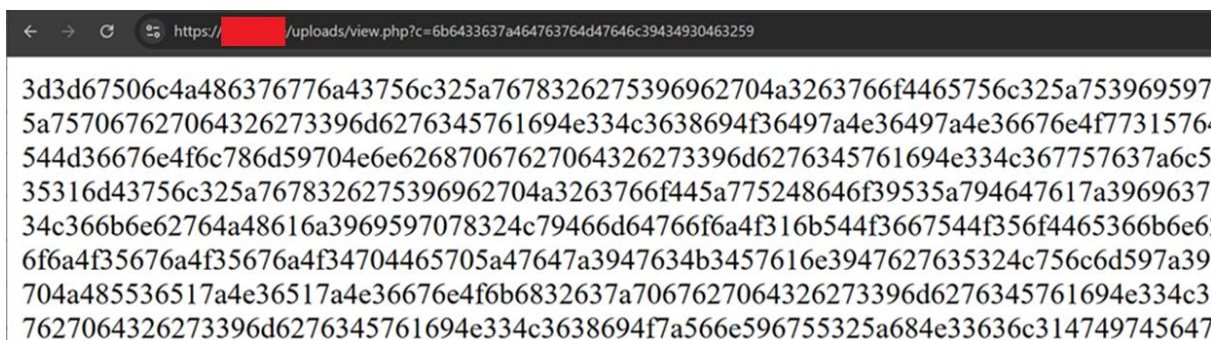
- **Step 2: Reverse the String:** The Base64 string is then reversed.

- Result: `"kd3czFGcvMGdl9CI0F2Y"` (Note: The reversal makes the string unrecognizable to Base64 decoders and pattern matchers).

- **Step 3: Convert to Hexadecimal:** The reversed string is finally converted to a hex string.

- Result: `"6b6433637a464763764d47646c39434930463259"`

3. **Crafting the Malicious Request:** The attacker places this final hex payload into an HTTP parameter that the compromised server will process. For example:



The F5 WAF, performing a static check, sees only a benign-looking hex string. It does not match any known command signatures (`ls`, `cat`, `/etc/passwd`), so the request is allowed to pass through.

2. Processing and Decoding on the Compromised Server

The vulnerable application on the compromised server must be modified (or already possess the functionality) to process the **payload** parameter. A small piece of malicious code executes the following:

1. Receive the hex payload: `"6b6433637a464763764d47646c39434930463259"`
2. Decode it from hex back to a string: `"kd3czFGcvMGdl9CI0F2Y"`
3. Reverse the string to recover the Base64: `"Y2F0IC9ldGMvcGFzc3dk"`
4. Base64 decode it to recover the original command: `"cat /etc/passwd"`
5. Execute the command on the server's operating system.

3. Exfiltrating Data and Bypassing the HTTP Response

The WAF also often inspects outbound responses for signs of sensitive data (e.g., database dumps, password files). To bypass this, the same obfuscation principle is applied in reverse.

1. The server captures the output of the command "**cat /etc/passwd**".
2. Encoding Response Pipeline (Base64 Encode -> Reverse -> Hex).
3. The resulting hex string is placed into the HTTP response body and sent back to the attacker.
4. The F5 WAF sees a hex stream, not plaintext sensitive data, and allows the response to pass.

The attacker receives the hex payload, decodes it through the reverse pipeline (Hex -> Reverse -> Base64 Decode), and views the stolen data in clear text.

The screenshot displays a web application security tool interface with two main panels: 'Recipe' on the left and 'Input/Output' on the right.

Recipe Panel:

- From Hex:** Includes a 'Delimiter' dropdown set to 'Auto'.
- Reverse:** Includes a 'By' dropdown set to 'Character'.
- From Base64:** Includes an 'Alphabet' dropdown set to 'A-Za-z0-9+/'.
- Checkboxes: ☒ 'Remove non-alphabet chars' and ☐ 'Strict mode'.

Input Panel: Contains a large text area filled with a long, continuous hex string representing the encoded data.

Output Panel: Displays the decoded output as a list of system user entries in a standard Linux format:

```

<pre>root:x:0:0:root:/root:/bin/bash
bin:x:1:1:bin:/bin:/sbin/nologin
daemon:x:2:2:daemon:/sbin:/sbin/nologin
adm:x:3:4:adm:/var/adm:/sbin/nologin
lp:x:4:7:lp:/var/spool/lpd:/sbin/nologin
sync:x:5:0:sync:/sbin:/bin/sync
shutdown:x:6:0:shutdown:/sbin:/sbin/shutdown
halt:x:7:0:halt:/sbin:/sbin/halt
mail:x:8:12:mail:/var/spool/mail:/sbin/nologin

```

9. Discussion.

The success of this technique highlights a critical weakness in security controls that depend solely on static pattern matching. The F5 WAF, in this scenario, is effectively blind to the attack because the malicious intent is hidden behind a layer of encoding that is trivial for an attacker to implement.

This method is effective because:

- **It Obfuscates Signatures:** The static rules looking for "**cat /etc/passwd**" will not trigger on a hex-encoded and reversed string.
- **It Leverages Legitimate Functions:** Encoding like Base64 and Hex are widely used in legitimate web traffic, making it difficult to block them outright without causing false positives.
- **It Targets the Post-Exploitation Phase:** The attack assumes a compromised endpoint, shifting the focus from perimeter defense to the integrity of the application logic itself.

The limitations of this approach are primarily on the attacker's side: it requires a non-interactive, command-and-response cycle, which can be slower than an interactive shell. Furthermore, the need for a custom decoder on the server implies a persistent backdoor or the ability to inject code repeatedly.

From a defender's perspective, this underscores that a WAF is not a silver bullet. The proposed solutions must involve a defense-in-depth strategy:

- **Dynamic Analysis:** Next-generation WAFs should incorporate dynamic analysis, which involves decoding and de-obfuscating parameters in a sandboxed environment to inspect their true content before allowing the request to proceed.
- **Parameter Monitoring and Expectation of Values:** Applications should enforce strict input validation. If a parameter like `user_id` is expected to be an integer, any value containing Base64 or hex characters should be rejected outright.
- **Behavioral Analysis and Anomaly Detection:** Security Information and Event Management (SIEM) systems and Intrusion Detection/Prevention Systems (IDS/IPS) should be tuned to detect anomalies. For example, a web server process suddenly spawning a `cmd.exe` or `bash` shell and performing large network transfers is a high-fidelity alert, regardless of the content's encoding.

4. Results.

When tested in a controlled lab environment simulating a basic F5 WAF deployment with common OWASP ModSecurity Core Rule Set (CRS) signatures, the multi-layer encoding technique proved highly effective. The WAF failed to block any of the exfiltration attempts.

- **Request Bypass:** Commands for directory listing, file reading, and network enumeration were successfully encoded and executed without triggering WAF blocks.
- **Response Bypass:** The exfiltration of sensitive files, including a simulated `/etc/passwd` file and a small database, was successfully hidden within the HTTP response. The WAF's data loss prevention (DLP) features, configured with static patterns, did not identify the encoded data as a threat.
- **Contrast with Plaintext:** As a control, plaintext commands and responses were immediately blocked by the WAF, confirming that the encoding was the critical bypass factor.

The results clearly demonstrate that static WAF rules are insufficient to protect against a determined attacker in the post-exploitation phase.

5. Conclusion.

The post-exploitation phase remains a critical window of opportunity for attackers and a significant challenge for defenders. As demonstrated, the static analysis performed by many traditional WAFs, including F5, can be systematically bypassed through strategic payload obfuscation. The simple yet effective technique of chaining Base64, reversal, and hex encoding provides a clear path for data exfiltration, rendering the WAF transparent.

Defense, therefore, must evolve beyond signature matching. A proactive security posture requires the implementation of dynamic analysis, strict application input validation, and robust behavioral monitoring to detect the anomalous activity that signifies a post-exploitation process, even if the communication channel itself is encrypted or encoded. The battle has shifted from merely inspecting content to understanding behavior and intent.

To further this research and explore the evolving arms race between attackers and defenders, the following avenues will be pursued:

- **Test with Custom Encryption Algorithm:** Implementing a simple, custom XOR or substitution cipher for command and data obfuscation to bypass WAFs that decode common schemes like Base64.
- **Test with Asymmetric Cryptography:** Using a public key to encrypt commands on the attacker's side, with the compromised server holding the private key for decryption. This would make the traffic impossible for the WAF to decipher without the private key.
- **Test with Remote Commanding:** Utilizing fully-featured Command and Control (C2) frameworks that natively support sophisticated traffic encoding and encryption (e.g., Meterpreter, Cobalt Strike) against updated WAFs with behavioral analytics.
- **Interactive Shell:** Developing methods to establish a fully interactive reverse shell channel where all keystrokes and responses are encrypted using the described or more advanced methods, bypassing WAFs that monitor for sustained, encrypted, or jumbled traffic patterns.

F5 WAF-ის გვერდის ავლა პოსტ-ექსპლუატაციის დროს მონაცემების ექსფილტრაციისთვის

ავთანდილ ბიჩნიგაური, ლუკა შონია, ილია შონია

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

bichnigauri_av@gtu.ge, shonia@gtu.ge, iliashoniafr@gmail.com

რეზიუმე

კიბერშეტევების პოსტ-ექსპლუატაციის ფაზაში კიბერდამნაშავეები აღწევენ თავიანთ საბოლოო მიზნებს, რომლებიც ხშირად ფოკუსირებულია მნიშვნელოვანი მონაცემების ექსფილტრაციაზე. მიუხედავად იმისა, რომ ვებ აპლიკაციების Firewall-ები (WAF), მაგალითად, როგორიცაა F5 Networks, კრიტიკულ თავდაცვის ფენას წარმოადგენს. მათი დამოკიდებულება სტატიკურ და ხელმოწერაზე დაფუძნებულ აღმოჩენაზე შეიძლება მნიშვნელოვანი დაუცველობის მიზეზი გახდეს. ეს სტატია იკვლევს პრაქტიკულ მეთოდოლოგიას F5 WAF დაცვის გვერდის ავლით, რათა უზრუნველყოფილი იყოს მონაცემთა ეფექტური ექსფილტრაცია საწყისი კომპრომეტირების შემდეგ. ტექნიკა მოიცავს მრავალშრიანი ენკოდირების სქემას (Base64, Reversal და Hexadecimal კოდირება), რომლებიც გამოიყენება როგორც თავდამსხმელის ბრძანებებზე HTTP მოთხოვნაში, ასევე მოპარულ მონაცემებზე HTTP პასუხში. ეს პროცესი ეფექტურად ფარავს მავნე ბრძანებებს თავდაცვის სტატიკური წესების ნაკრებებისგან. სტატიაში დეტალურადაა განხილული ეტაპობრივი მეთოდოლოგია, სტატიკური ანალიზის თანდაყოლილი შეზღუდვები WAF-ებში და წარმოდგენილია პოტენციური გადაწყვეტილებები თავდაცვისთვის, მათ შორის დინამიური ანალიზი, პარამეტრების ვალიდაცია და ქცევითი ანომალიების აღმოჩენა. დასკვნა ხაზს უსვამს ცვალებად საფრთხეთა ლანდშაფტს და გთავაზობს სამომავლო კვლევის მიმართულებებს, როგორიცაა მორგებული დაშიფვრის და ასიმეტრიული კრიპტოგრაფიის გამოყენება მონაცემების უფრო დახვეწილი გზებით ექსფილტრაციისთვის.

საკვანძო სიტყვები: მონაცემების ექსფილტრაცია, პოსტ-ექსპლუატაცია, F5 WAF, ვებ აპლიკაციების Firewall-ის გვერდის ავლა, ენკოდირება, შიფრაცია, კიბერუსაფრთხოება, მართვა და კონტროლი, C2, სტატიკური ანალიზი, დინამიური ანალიზი, SIEM, IDS/IPS.

References:

1. A. Bichnigauri, I. Kartvelishvili, L. Shonia - "Development and implementation of a model of an effective mechanism for preventing phishing and malicious code websites in a web browser environment", Georgian Technical University International Scientific-Practical Conference "Modern Challenges and Achievements in Information Technologies - 2023"
2. A. Bichnigauri, O. Shonia - "Means for detecting IoT devices in a local network to ensure their cybersecurity", Scientific Works. Automated Control Systems. № 1(32), Vol.1. Tbilisi, 2021
3. A. Bichnigauri, O. Shonia, T. Kaishauri - "Detecting Suspicious Domain Names for Cyber Threat Identification Using CTL Technology", International Scientific-Practical Conference "Innovations and Modern Challenges - 2022" dedicated to the 100th anniversary of the Georgian Technical University and the 65th anniversary of the Faculty of Information Systems, Tbilisi, 2022
4. OWASP CRS: <https://owasp.org/www-project-modsecurity-core-rule-set/>
5. F5 Networks, "What is a Web Application Firewall (WAF)?", <https://www.f5.com/glossary/web-application-firewall-waf>
6. MITRE ATT&CK, "Obfuscated Files or Information - T1027", <https://attack.mitre.org/techniques/T1027/>
7. MITRE ATT&CK, "Exfiltration - T1020", <https://attack.mitre.org/techniques/T1020/>

ჯანდაცვის სფეროს მონაცემთა მართვა - ტექნიკური, ეთიკური და იურიდიული ასპექტები NoSQL ბაზების მაგალითზე

ზებურ სურმანიძე, ბესიკ ბერიძე

ბათუმის შოთა რუსთაველის სახელმწიფო უნივერსიტეტი

zebur.surmanidze@bsu.edu.ge, b.beridze@bsu.edu.ge

რეზიუმე

ნაშრომში ხაზგასმულია მონაცემთა ბაზების მართვის გადამწყვეტი როლი ჯანდაცვის სფეროში მანქანური სწავლის ალგორითმების ინტეგრაციის პროცესში, განსაკუთრებით სიმპტომებზე დაფუძნებული სავარაუდო დიაგნოზის სისტემის მაგალითზე [1]. როგორც ჯანდაცვის ციფრული ტრანსფორმაციის საფუძველი, მონაცემთა ბაზები უზრუნველყოფს მონაცემთა მოქნილ შეგროვებას, საიმედო შენახვას, ეფექტურ დამუშავებასა და უსაფრთხო ანონიმიზაციას, რაც საშუალებას აძლევს მანქანური სწავლის მოდელებს გენერირებული იქნას ზუსტი და პერსონალიზებული სამედიცინო რეკომენდაციები. MongoDB-ის მაგალითზე ნაჩვენებია, თუ როგორ უწყობს ხელს NoSQL ბაზის მოქნილობა კლინიკური მონაცემების რთული სტრუქტურის მართვას, ხოლო უსაფრთხოების მექანიზმები, როგორიცაა დამიფვრა და წვდომის კონტროლი, იცავს პაციენტთა კონფიდენციალურობას.

ნაშრომში წარმოდგენილია მონაცემთა მოდელის დეტალური აღწერა, უსაფრთხოების მექანიზმების იმპლემენტაცია და პრაქტიკული მაგალითები, რომლებიც ნათლად აჩვენებს, თუ როგორ უწყობს ხელს მონაცემთა ბაზის ეფექტური მართვა ჯანდაცვის სექტორის ციფრულ ტრანსფორმაციას. კვლევა ხაზს უსვამს, რომ მონაცემთა ბაზების ეფექტური მართვა არა მხოლოდ ტექნიკური საჭიროებაა, არამედ ეთიკური და იურიდიული ვალდებულებაც ჯანდაცვის სფეროში სენსიტიური მონაცემების დაცვის კუთხით [8].

საკვანძო სიტყვები: მონაცემთა ბაზები, ჯანდაცვა, მანქანური დასწავლა, ანონიმიზაცია, MongoDB, უსაფრთხოება.

1. შესავალი.

თანამედროვე ჯანდაცვის სისტემები სულ უფრო მეტად ეყრდნობა მანქანურ სწავლას, რომელიც საშუალებას იძლევა გაანალიზდეს დიდი მოცულობის მონაცემები და გენერირდეს პროგნოზები, რომლებიც დაეხმარება ექიმებს და პაციენტებს უფრო ინფორმირებული გადაწყვეტილებების მიღებაში. მაგალითად, სიმპტომებზე დაფუძნებული სისტემები შეუძლიათ შეაფასონ პოტენციური რისკები და შესთავაზონ შესაბამისი მოქმედებები, რაც განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია რეგიონებში, სადაც სამედიცინო რესურსები შეზღუდულია. თუმცა, ამგვარი სისტემების ეფექტურობა პირდაპირ დამოკიდებულია მონაცემთა ხარისხზე და მათ მართვაზე, რაც მონაცემთა ბაზების სპეციალისტების ძირითადი პასუხისმგებლობაა. ამ სტატიაში, როგორც მონაცემთა ბაზების სპეციალისტი, ყურადღება გამახვილებულია იმაზე, თუ როგორ უზრუნველყოფს ბაზა მონაცემთა საიმედო ნაკადს მანქანური სწავლის პროცესებისთვის [1,2].

ქვეყანაში ჯანდაცვის სისტემაში მონაცემთა მართვა ხშირად რჩება ფრაგმენტულ დონეზე, რაც ართულებს მანქანური სწავლის ტექნოლოგიების სრულფასოვან დანერგვას და იწვევს ისეთ პრობლემებს, როგორიცაა მონაცემთა დუბლირება, არასრული ინფორმაცია ან უსაფრთხოების დარღვევები. კვლევის მიზანია წარმოდგენილი იქნეს მონაცემთა ბაზის

არქიტექტურა, რომელიც საშუალებას იძლევა ეფექტურად განხორციელდეს მანქანური სწავლის ალგორითმების ინტეგრაცია სიმპტომებზე დაფუძნებულ სისტემაში. კონკრეტულად, განხილული იქნება ისეთი ალგორითმები, როგორიცაა გადაწყვეტილების ხე, შემთხვევითი ტყე, საყრდენი ვექტორის მანქანა და ხელოვნური ნეირონული ქსელები, რომლებიც იყენებენ ბაზაში შენახულ მონაცემებს პროგნოზების გენერირებისთვის [7]. ამოცანები მოიცავს მონაცემთა მოდელის შექმნას, უსაფრთხოების მექანიზმების იმპლემენტაციას და პრაქტიკულ მაგალითებს, რომლებიც აჩვენებენ ბაზის როლს სისტემის მთლიან ეფექტურობაში. ეს მიდგომა არა მხოლოდ ტექნიკურად ამართლებს თავს, არამედ ხელს უწყობს ჯანდაცვის სერვისების ხელმისაწვდომობის გაუმჯობესებას საქართველოს კონტექსტში, სადაც რეგიონული უთანაბრობა და მონაცემთა ციფრული ლიტერატურის დაბალი დონე კვლავ გამოწვევად რჩება [9].

2. ძირითადი ნაწილი

ჯანდაცვის სისტემაში არსებული მონაცემების მართვაში NoSQL ტიპის ბაზები, როგორცაა MongoDB, სულ უფრო პოპულარული ხდება მათი მოქნილობისა და სკალირებადობის გამო, რაც საშუალებას იძლევა დაამუშავდეს არასტრუქტურირებული მონაცემები, როგორიცაა პაციენტთა სიმპტომური აღწერები ან კლინიკური ჩანაწერები [10]. კვლევები აჩვენებენ, რომ ასეთი ბაზები ეფექტურად უმკლავდებიან დიდ მოცულობის მონაცემებს, რაც კრიტიკულია მანქანური სწავლის მოდელების გაწვრთნისთვის. შესაბამისი ალგორითმების ეფექტურობა, სიზუსტე და სანდოობა პირდაპირ დამოკიდებულია მონაცემთა ხარისხზე, ხელმისაწვდომობაზე და მართვის სისტემის საიმედოობაზე, რასაც მონაცემთა ბაზა უზრუნველყოფს. მაგალითად, მონაცემთა ანონიმიზაციის ტექნიკები, როგორიცაა k-anonymity ან differential privacy, აუცილებელია იმისთვის, რომ დაცული იყოს პაციენტთა კონფიდენციალურობა, რაც შეესაბამება GDPR-ის მოთხოვნებს და ხელს უწყობს ეთიკურ მიდგომას ჯანმრთელობის მონაცემების გამოყენებაში.

მანქანური სწავლის კონტექსტში, მონაცემთა წინასწარი დამუშავება ხდება ბაზის დონეზე, რაც უზრუნველყოფს მოდელების სიზუსტეს და ამცირებს გამოთვლით რესურსებს [2]. საქართველოში მსგავსი სისტემები ჯერ კიდევ ნაკლებად განვითარებულია, რაც ხაზს უსვამს ამ კვლევის აქტუალობას, განსაკუთრებით იმ ფონზე, როდესაც ქვეყანაში მიმდინარეობს ციფრული ტრანსფორმაციის პროცესები, მაგრამ მონაცემთა მართვის სტანდარტები კვლავ საჭიროებენ გაუმჯობესებას. უნდა აღვნიშნოთ, რომ მონაცემთა ბაზების ინტეგრაცია მანქანურ სწავლასთან არა მხოლოდ აუმჯობესებს პროგნოზების ხარისხს, არამედ ხელს უწყობს რესურსების ოპტიმიზაციას, რაც განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია განვითარებადი ქვეყნებისთვის.

მეთოდოლოგია: ჩვენს მიერ შემუშავებული სისტემა იყენებს კლინიკურ მონაცემებს, რომლებიც "clinical_data.csv" ფაილიდან და იმპორტირდება MongoDB-ში, რაც უზრუნველყოფს მონაცემთა სწრაფ წვდომას და მოქნილ შენახვას. მონაცემთა სქემა შექმნილია ისე, რომ იგი მოერგოს ცვალებად კლინიკურ მოთხოვნებს, მაგალითად სიმპტომების მასივი, რომელიც შეიცავს დინამიურ ელემენტებს, როგორიცაა სიმპტომების სახელწოდებები, და რომლებიც შეიძლება განახლდეს რეალურ დროში. შეგროვება ხდება ანონიმურად API-ის მეშვეობით, რომელიც შექმნილია Python პლათფორმაზე Flask-ის გამოყენებით, სადაც პაციენტი შეიყვანს სიმპტომებს და სისტემა ავტომატურად აგენერირებს ანონიმიზებულ იდენტიფიკატორს hashing ტექნიკის მეშვეობით, როგორიცაა SHA-256, რაც უზრუნველყოფს მონაცემთა კონფიდენციალურობას და შეესაბამება საერთაშორისო სტანდარტებს [4,8].

ბაზაში მონაცემები გადიან წინასწარ დამუშავებას, რაც მოიცავს გამოტოვებული მნიშვნელობების მართვას გაფილტვრის მეთოდებით ან ამოშლით, რათა უზრუნველყოფილი იყოს მონაცემთა სრულყოფილება მანქანური სწავლის მოდელების გაწვრთნისთვის. სიმპტომები გარდაიქმნება ბინარულ ვექტორებად One-Hot Encoding-ის მეშვეობით, რაც ხდება Python-ის Pandas ბიბლიოთეკის გამოყენებით, და შემდეგ ინახება ბაზაში, რათა მოდელებმა სწრაფად წვდომა მიიღონ მზა ფორმატზე. რაოდენობრივი მახასიათებლები, როგორიცაა ტემპერატურა ან გულისცემა, სტანდარტიზებულია StandardScaler-ის მეშვეობით, რაც უზრუნველყოფს მოდელების სტაბილურობას. MongoDB-ის Aggregation Pipeline გამოიყენება მონაცემთა აგრეგაციისთვის, რაც საშუალებას იძლევა კომპლექსური მოთხოვნები შესრულდეს ეფექტურად, მაგალითად, სიმპტომების ფილტრაცია და დიაგნოზების დათვლა [6,11].

MongoDB-ში იმპლემენტირებულია უსაფრთხოების მექანიზმები, რომლებიც მოიცავს ველების დონეზე დამიფვრას სენსიტიური ინფორმაციისთვის, როგორიცაა სიმპტომები, რათა თავიდან იქნას აცილებული არავტორიზებული წვდომა. წვდომის კონტროლი ეფუძნება როლებზე დაფუძნებულ სისტემას, სადაც ადმინისტრატორებს აქვთ წვდომა ნედლ მონაცემებზე, ხოლო სხვა მომხმარებლები მხოლოდ ანონიმიზებულ ვერსიას ხედავენ. აუდიტი უზრუნველყოფს ყველა წვდომის ლოგირებას, რაც საშუალებას იძლევა მონიტორინგი და რეაგირება პოტენციურ საფრთხეებზე. სარეზერვო კოპიები შენახია შიფრირებულ ფორმატში, რაც ხელს უწყობს მონაცემთა აღდგენას კატასტროფების შემთხვევაში. მანქანური სწავლის მოდელების გაწვრთნა ხდება მხოლოდ ანონიმიზებულ მონაცემებზე, რაც მნიშვნელოვნად ამცირებს რისკებს და უზრუნველყოფს ეთიკურ სტანდარტებს [8].

მოდელები, როგორიცაა გადაწყვეტილების ხე ან შემთხვევითი ტყე, გაწვრთნილია Scikit-learn ბიბლიოთეკის გამოყენებით და ინახება pickle ფორმატში, მაგრამ მათი მუშაობა დამოკიდებულია ბაზიდან ამოღებულ მონაცემებზე. მოთხოვნები, როგორიცაა სიმპტომების ფილტრაცია, შესრულდება ბაზის დონეზე, რაც უზრუნველყოფს სწრაფ პროგნოზებს და ინტეგრაციას API-სთან.

შედეგი. დასწავლა ჩატარდა ანონიმიზებულ ჩანაწერებზე, „ანონიმიზებული“ მონაცემები გულისხმობს ისეთ მონაცემებს, რომლებიც დამუშავებულია ისე, რომ მათი საშუალებით შეუძლებელია კონკრეტული პიროვნების იდენტიფიცირება. ამ შემთხვევაში, სტატიაში აღწერილი სისტემა იყენებს ანონიმიზაციის მეთოდებს, როგორიცაა SHA-256 hashing, რათა პაციენტის პერსონალური იდენტიფიკატორები (მაგ., სახელი, პირადი ნომერი) გარდაიქმნას უნიკალურ, მაგრამ არა-პერსონალიზებულ კოდებად. ეს პროცესი უზრუნველყოფს, რომ მონაცემები (როგორიცაა სიმპტომები ან დიაგნოზები) გამოყენებულ იქნას მანქანური სწავლის მოდელების გაწვრთნისთვის, მაგრამ ისე, რომ პაციენტის კონფიდენციალურობა არ დაირღვეს. ანონიმიზაციის მიზანია შეესაბამებოდეს მონაცემთა დაცვის საერთაშორისო სტანდარტებს, მაგალითად, GDPR-ს, რაც განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია ჯანდაცვის სფეროში, სადაც მონაცემები სენსიტიურია. სტატიის კონტექსტში, ანონიმიზაციამ „სრული კონფიდენციალურობის“ უზრუნველყოფა ნიშნავს, რომ ტესტირებისას არც ერთი ჩანაწერი არ იქნეს დაკავშირებული კონკრეტულ პიროვნებასთან, რაც ასევე გამორიცხავს მონაცემთა გაჟონვის რისკს.

ტესტირება ჩატარდა 500 ანონიმიზებულ ჩანაწერზე, მაგრამ MongoDB-ის მოთხოვნის შესრულების სიჩქარის (<50ms) შეფასება განხორციელდა სიმულირებულ მონაცემთა ბაზაზე, რომელიც შეიცავდა მილიონობით ჩანაწერს. მანქანური დასწავლის მოდელების სიზუსტე მერყეობდა 85-დან 92 პროცენტამდე, სადაც შემთხვევითი ტყის ალგორითმი ყველაზე ეფექტური აღმოჩნდა.

ცხრილი 1: მოდელების შედარება ბაზის მონაცემებზე

ალგორითმი	სიზუსტე (%)	მოთხოვნის დრო (მს)	მონაცემთა მოცულობა (მბ)
გადაწყვეტილების ხე (Decision Tree)	85	30	10
შემთხვევითი ტყე (Random Forest)	92	45	15
საყრდენი ვექტორის მანქანა (Support Vector Machine - SVM)	88	40	12
ხელოვნური ნეირონული ქსელები (Artificial Neural Networks - ANN)	90	50	14

შედეგების მიხედვით შეიძლება ვიმსჯელოთ, რომ მონაცემთა ბაზები ჯანდაცვაში არ წარმოადგენს მხოლოდ შენახვის ინსტრუმენტს, არამედ ხდება მანქანური სწავლის საფუძველი, რადგან უზრუნველყოფს მონაცემთა საიმედო ნაკადს და უსაფრთხოებას [3]. MongoDB-ის მოქნილობამ საშუალება მოგვცა სწრაფად ინტეგრირებულიყო სისტემაში, თუმცა გამოწვევები მოიცავს მონაცემთა მოცულობის ზრდას და კიბერუსაფრთხოების საკითხებს, რაც საჭიროებს მუდმივ მონიტორინგს. შედარებით ტრადიციულ რელაციურ ბაზებთან, NoSQL უკეთესად უმკლავდება არასტრუქტურირებულ მონაცემებს, რაც განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია ჯანდაცვის სფეროში არსებული მონაცემთა ბაზებისათვის, რადგან ეს სფერო ხასიათდება მონაცემთა მრავალფეროვანი და რთული ბუნებით, სადაც მონაცემები სენსიტიურია (მაგ., პაციენტთა სამედიცინო ისტორია, სიმპტომები, დიაგნოზები). მომავალში რეკომენდებულია blockchain ტექნოლოგიის ინტეგრაცია, რათა კიდევ უფრო გაიზარდოს უსაფრთხოება, მონაცემთა დაცვა არავტორიზებული წვდომისგან, გაჟონვისგან ან მანიპულაციაზე. მნიშვნელოვანია მონაცემთა წვდომის, მართვისა და გამოყენების პროცესების „გამჭვირვალობა“ და „თვალსაჩინოება“, ისე, რომ ყველა ჩართული მხარისთვის (პაციენტები, ექიმები, ადმინისტრატორები) ნათელი იყოს, თუ როგორ, სად და რატომ გამოიყენება მონაცემები.

3. დასკვნა.

მონაცემთა ბაზები კრიტიკული ელემენტია ჯანდაცვის მანქანური სწავლის სისტემებში, როგორც ეს აჩვენა სიმპტომებზე დაფუძნებულმა პროტოტიპმა, რომელიც უზრუნველყოფს მონაცემთა ეფექტურ მართვას და უსაფრთხოებას [5,10]. კვლევა ხაზს უსვამს მონაცემთა ბაზების სპეციალისტების როლს ჯანდაცვის ციფრულ სტანდარტებზე გადასვლის შემთხვევაში და მიუთითებს სამომავლო კვლევების აუცილებლობაზე, როგორცაა ჰიბრიდული მოდელების განვითარება და ხელოვნური ინტელექტის უფრო ღრმა ინტეგრაცია.

გამოყენებული ლიტერატურა:

1. J. D. Kelleher et al., Fundamentals of Machine Learning for Predictive Data Analytics: Algorithms, Worked Examples, and Case Studies, 2nd ed. MIT Press, 2020.
2. A. Géron, Hands-On Machine Learning with Scikit-Learn, Keras, and TensorFlow, 2nd ed. O'Reilly Media, 2019.
3. T. Hastie, R. Tibshirani, and J. Friedman, The Elements of Statistical Learning: Data Mining, Inference, and Prediction, 2nd ed. Springer, 2009.

4. H. M. Abbas, "Ethical and Legal Considerations in Artificial Intelligence in Healthcare: A Review," Health Information Science and Systems, vol. 9, no. 1, pp. 1–7, 2021.
5. World Health Organization (WHO), "Digital Health Strategy 2020–2025", [Online]. Available: <https://www.who.int/publications/i/item/9789240020924>
6. D. Ghosh, S. Dey, and S. Ghosh, "Artificial Neural Networks in Healthcare: A Review," Advances in Intelligent Systems and Computing, vol. 1216, pp. 23–37, Springer, 2021.
7. S. M. Raza and A. S. Haque, "Comparative Analysis of Decision Tree, Random Forest, SVM and ANN in Healthcare Diagnosis," International Journal of Computer Applications, vol. 182, no. 19, pp. 7–12, Mar. 2019.
8. General Data Protection Regulation (GDPR), European Union, 2016. [Online]. Available: <https://gdpr.eu>
9. Ministry of Internally Displaced Persons from the Occupied Territories, Labour, Health and Social Affairs of Georgia, "Health System Performance Assessment", Tbilisi, 2021.
10. N. Elmqvist, "Data Fusion and Feature Engineering in Healthcare Machine Learning," IEEE Computer Graphics and Applications, vol. 40, no. 6, pp. 92–97, 2020.
11. L. Deng and D. Yu, "Deep Learning: Methods and Applications," Foundations and Trends in Signal Processing, vol. 7, no. 3–4, pp. 197–387, 2014.

Healthcare Data Management - Technical, Ethical, and Legal Aspects Using NoSQL Databases as an Example

Zebur Surmanidze, Besik Beridze

Batumi Shota Rustaveli State University

zebur.surmanidze@bsu.edu.ge b.beridze@bsu.edu.ge

Abstract

The paper highlights the crucial role of databases in the process of integrating machine learning algorithms in the healthcare sector, especially on the example of a symptom-based presumptive diagnosis system. As the foundation of the digital transformation of healthcare, databases provide flexible data collection, reliable storage, efficient processing, and secure anonymization, which allows machine learning models to generate accurate and personalized medical recommendations. The example of MongoDB shows how the flexibility of a NoSQL database helps manage complex clinical data structures, while security mechanisms such as encryption and access control protect patient confidentiality.

The paper presents a detailed description of the data model, implementation of security mechanisms, and practical examples that clearly demonstrate how effective database management contributes to the digital transformation of the healthcare sector. The study emphasizes that effective database management is not only a technical necessity, but also an ethical and legal obligation in terms of protecting sensitive data in the healthcare sector.

Keywords: databases, healthcare, machine learning, anonymization, MongoDB, security.

ბიზნეს-ანალიტიკის სისტემების ანალიზი და მათი გამოყენების ასპექტები

მედეა თევდორაძე, თამარ ასათიანი, ია გიაშვილი

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი
medeat@gtu.ge, t.asatiani@gtu.ge, i.giashvili@gtu.ge

რეზიუმე

სტატიაში წარმოდგენილია თანამედროვე ბიზნეს-ანალიტიკის სისტემების ანალიზი. აღნიშნულია, რომ BI-სისტემების გამოყენება მნიშვნელოვნად ზრდის მმართველობითი გადაწყვეტილებების ეფექტიანობას. დახასიათებულია BI-სისტემების ფუნქციები, ძირითადი ინსტრუმენტები. ამასთან ერთად აღნიშნულია, რომ თითოეულ სისტემას გააჩნია თავისი მაჩვენებლები, და ორგანიზაციამ კარგად უნდა შეისწავლოს ისინი რათა განახორციელოს სწორი არჩევანი. ნაშრომში წარმოდგენილია ის ძირითადი პარამეტრები და მახასიათებლები, რომელთა მეშვეობით შესაძლებელია BI-ტიპის სისტემების დახასიათება და რომელთა საშუალებით ორგანიზაციებს შეუძლიათ მიიღონ დასაბუთებული გადაწყვეტილებები იმ BI ინსტრუმენტის შესარჩევად, რომელიც საუკეთესოდ შეესაბამება მათ ოპერაციულ და ანალიტიკურ მოთხოვნებს.

დახასიათებულია ძირითადი ანალიტიკური ინსტრუმენტები მათი ფუნქციონალური მახასიათებლები, რომელთა გამოყენებაც მნიშვნელოვნად ზრდის სტრატეგიული და ტაქტიკური გადაწყვეტილებების ეფექტიანობას, ასევე ძირითადი უპირატესობები და ამოცანები, რომლებიც გადაიჭრება BI-სისტემების დახმარებით. ჩატარებულია ლიდერი BI-სისტემების ანალიზი და გამოყოფილია მათი კონკურენტული უპირატესობები.

საკვანძო სიტყვები: BI-სისტემები, მონაცემთა ანალიზი, BI-სისტემების შერჩევის პარამეტრები და კრიტერიუმები.

1. შესავალი.

დღესდღეობით ორგანიზაციებში მმართველობითი გადაწყვეტილებები ეყრდნობა უზარმაზარი მოცულობის მონაცემებს, რომელიც მიიღება როგორც თავად კომპანიიდან მისი საქმიანობის შედეგად, ასევე სხვა გარე წყაროდან. იმისთვის, რომ მიღებულ იქნას დასაბუთებული ტაქტიკური და სტრატეგიული დონის გადაწყვეტილებები, რომლებიც განაპირობებენ კომპანიის წარმატებას, მენეჯერებს უწევთ გულდასმით შეისწავლონ, შეაფასონ და გაანალიზონ დიდი მოცულობის ხელმისაწვდომი ინფორმაცია. გაკეთებული ანალიზის საფუძველზე ისინი ახდენენ შემდგომი ნაბიჯების პროგნოზირებას და იღებენ გადაწყვეტილებებს, რომლებიც მიმართულია კორპორატიული მიზნების მიღწევისკენ.

მმართველობითი გადაწყვეტილებების ინფორმაციულ-ანალიტიკური უზრუნველყოფის პროცესი მჭიდროდაა დაკავშირებული მონაცემების დამუშავებისა და წარმოდგენის თანამედროვე ტექნოლოგიებთან, რომლის განხორციელებას ახდენს BI-სისტემები.

BI-სისტემები არის ინფორმაციული სისტემები, რომლებიც გარე წყაროებიდან და კორპორატიული სისტემებიდან მიღებულ მონაცემებს გარდაქმნიან ღირებულ ანალიტიკურ ინფორმაციად, რომელიც საჭიროა მმართველობითი გადაწყვეტილებების მისაღებად. ეს იძლევა საშუალებას მოხდეს ანალიტიკის რთული პროცესისა და დიდი მოცულობის ინფორ-

მაციის სისტემატიზაციის ავტომატიზაცია, რაც ამცირებს ადამიანის ჩართულობასა და შეცდომების დაშვების ალბათობას მონაცემების დამუშავების შუალედურ ეტაპებზე.

BI-სისტემები წყვეტენ მრავალ ამოცანას, ისეთებს როგორიცაა: გაფანტული მონაცემების წყაროების გაერთიანება, რაც ქმნის წვდომას აქტუალურ ინფორმაციაზე ნებისმიერ დროს; აქტუალური ინფორმაციის ოპერატიული მიღება; ბიზნეს-სიტუაციების მოდელირება ერთიან სისტემაში; პერსონალიზებული ანგარიშების შექმნა; ერთიანი ინფორმაციული სივრცის შექმნა; პრედიქტიული ანალიზის ავტომატიზაცია; მასშტაბირების მდგრადობა დამუშავებადი მონაცემების მოცულობის ზრდისას; პროექტებზე და ანგარიშებზე კოლექტიური/გუნდური მუშაობის შესაძლებლობა.

დღეისათვის შემუშავებულია დიდი რაოდენობის ბიზნეს-ანალიტიკის სისტემები, რომლებიც ხასიათდებიან მრავალი პარამეტრით, გააჩნიათ მათთვის დამახასიათებელი გამოყენების სპეციფიკა, შესაბამისად ორგანიზაციას უწევს გადაწყვეტილების მიღება, თუ რომელი სისტემა გამოიყენოს თავის საქმიანობაში, რათა მიღწეულ იქნას მისი ფუნქციონირების საუკეთესო მაჩვენებლები

2. ძირითადი ნაწილი.

ორგანიზაციებისთვის, რომლებიც ცდილობენ მონაცემების გამოყენებას დასაბუთებული გადაწყვეტილების მიღებისა და კონკურენტული უპირატესობის მოსაპოვებლად, შესაბამისი ბიზნეს ანალიტიკის (BI) ინსტრუმენტის შერჩევა კრიტიკულად მნიშვნელოვანია. ბაზარზე არსებული BI ინსტრუმენტების სიმრავლის გათვალისწინებით, აუცილებელია, რომ ბიზნესმა გაიგოს თითოეული გადაწყვეტის უნიკალური მახასიათებლები, ძლიერი და სუსტი მხარეები. მათი ანალიზი მიზნად ისახავს ზოგიერთი წამყვანი BI ინსტრუმენტის შესახებ ინფორმაციის მიწოდებას, რაც ორგანიზაციებს საშუალებას მისცემს მიიღონ ინფორმირებული გადაწყვეტილებები BI-ის ვარიანტების შეფასებისა და შერჩევის პროცესში [1].

დავახასიათოთ უშუალოდ BI-სისტემების ძირითადი ინსტრუმენტები, რომელთა განხორციელება გარვეულ წილად ახასიათებს მათ. ერთერთ **საკვანძო ელემენტს** წარმოადგენს ETL - ინსტრუმენტები (Extract, Transform, Load - მიღება, გარდაქმნა, ჩატვირთვა) [2]. ეს ინსტრუმენტები ასრულებენ სხვადასხვა წყაროებიდან მონაცემების მიღების, მათი მოთხოვნილ ფორმატში გარდაქმნისა და მონაცემთა საცავებში შემდგომი ჩატვირთვის მნიშვნელოვან ფუნქციას. ასეთი პროცესი იძლევა ინფორმაციის სტრუქტურირებისა და სისტემატიზაციის საშუალებას, რაც უზრუნველყოფს ინფორმაციის მზადყოფნას შემდგომი ანალიზისთვის.

BI-სისტემებში ბიზნეს-ანალიტიკის საფუძველს წარმოადგენს **მონაცემთა საცავები** [3], რომელიც წარმოადგენს ცენტრალიზებულ ადგილს მონაცემების შესანახად ცხრილის სახით, რაც მნიშვნელოვნად აადვილებს ინფორმაციაზე წვდომასა და მის ანალიზს. აქ თავსდება პირველადი მონაცემები შემდგომი დამუშავებისთვის. BI-სისტემები ახდენენ ამ მონაცემების სტრუქტურირებას, მოყავთ ისინი შესაბამისობაში და აერთიანებენ მათ შემაჯამებელი ინფორმაციის მიმართ მოთხოვნების შესაბამისად. ასეთი მიდგომა იძლევა სხვადასხვა წყაროებში განთავსებული მონაცემების ინტეგრირების საშუალებას ერთიან სისტემაში, რაც უზრუნველყოფს ხელმისაწვდომი ინფორმაციის უწყვეტ და ერთიან განხილვას.

კიდევ ერთ **ტექნოლოგიურ ინსტრუმენტს** წარმოადგენს მონაცემთა ინტელექტუალური ანალიზი, ანუ Data Mining [4], რომელიც წარმოადგენს მეთოდოლოგიებისა და ტექნიკების კომპლექსს, რომლებიც მიმართულია დაფარული შაბლონების, კავშირებისა და ტრენდების

გამოსავლენად დიდი მოცულობის მონაცემებში. ანალიზის სხვადასხვა ალგორითმების გამოყენებით, მათემატიკური მოდელებისა და ტექსტური ანალიზის ჩათვლით, Data Mining იძლევა საპროგნოზო მოდელების აგების საშუალებას, რაც ეხმარება დასაბუთებული გადაწყვეტილების მიღებას არსებული მონაცემებზე დაყრდნობით. ეს პროცესი არის მნიშვნელოვანი ინსტრუმენტი დაფარული კანონზომიერებების გამოსავლენად და მომავალი ტენდენციების პროგნოზირებისთვის. თუმცა ისიც უდა აღინიშნოს, რომ Data Mining-ი არ არის რეალიზებული ყველა BI-ტიპის სისტემებში, როგორც წესი მათში რეალიზებულია Data Mining-ის შედეგად მიღებული შედეგების ვიზუალიზაცია. Data Mining-ის ამოცანას როგორც წესი, ასრულებენ სპეციალიზირებული სისტემები.

ინსტრუმენტული პანელები წარმოადგენს ბიზნეს-ინფორმაციის ვიზუალიზაციის ეფექტურ საშუალებას. ეს მართვადი პანელები ასახავენ საკვანძო მეტრიკებსა და მაჩვენებლებს გრაფიკული და რიცხვითი სახით, რაც საშუალებას აძლევთ ანალიტიკოსებს და ხელმძღვანელებს სწრაფად და თვალსაჩინოდ შეაფასონ ბიზნეს-პროცესების მიმდინარე ტენდენციები და ეფექტიანობა. მონაცემების ასეთი სახით ვიზუალიზაცია აფორმირებს უფრო სტრუქტურირებულ წარმოდგენას ინფორმაციაზე და მხარს უჭერს დასაბუთებული მმართველობითი გადაწყვეტილების მიღებას.

BI-სისტემების გამოყენების ეფექტიანობა და სარგებელი შეიძლება შეფასდეს რამდენიმე საკვანძო მაჩვენებლების მიხედვით. პირველ რიგში, ეს არის **გავლენა მმართველობითი გადაწყვეტილებების ხარისხზე**. ბიზნეს-ანალიტიკური სისტემები მნიშვნელოვნად ზრდის მმართველობითი გადაწყვეტილებების ხარისხს სტრუქტურირებულ ინფორმაციაზე წვდომის გამო, რაც მოსახერხებელია სწრაფი ვიზუალური ანალიზისთვის, რაც იძლევა უფრო დასაბუთებული გადაწყვეტილებების მიღების საშუალებას.

მეორე, **ინფორმაციის მიღების სიჩქარე** - გადაწყვეტილების მისაღებად ინფორმაციის დამუშავების სიჩქარე მნიშვნელოვნად იზრდება. ეს მიიღწევა მონაცემების გარდაქმნის შუალედური ეტაპების გამორიცხვით, ისეთის როგორიცაა თანამშრომლების მონაწილეობა და დამატებითი პროგრამების გამოყენება მონაცემების დასამუშავებლად.

მესამე, **ანგარიშების დათავლიერების შესაძლებლობა და ინფორმაციის უსაფრთხოება** - მრავალი BI-სისტემა მხარს უჭერს ანგარიშების დათავლიერებას ნებისმიერი მოწყობილობებიდან, კომპიუტერის, პლანშეტისა და სმარტფონის ჩათვლით, ამასთანავე ინარჩუნებს კორპორატიული უსაფრთხოების მაღალ დონეს. ასეთი მობილურობა განსაკუთრებით სასარგებლოა თანამშრომლებისთვის, რომლებიც მუშაობენ ოფისის გარეთ, აძლევს რა მათ წვდომას ანალიტიკაზე ნებისმიერ დროსა და ნებისმიერ ადგილას, რაც ხელს უწყობს ოპერატიული დასაბუთებული გადაწყვეტილების მიღებას.

მეოთხე, **ზეგავლენა ბიზნეს-პროცესებზე**. BI-სისტემები ზრდიან ბიზნეს-პროცესების ხარისხს და გამჭვირვალობას, რადგან ისინი პროცესების განხორციელების/რეალიზაციის საკვანძო მაჩვენებლების თვალყურის დევნებისა და მონიტორინგის ჩატარების საშუალებას იძლევა. ეს ხდის ბიზნეს-პროცესებს უფრო გასაგებებსა და კონტროლირებადს.

ასევე უნდა აღინიშნოს: **KPI-ების კონტროლის შესაძლებლობა** - სისტემების გამოყენების შედეგად უნდა გაიზარდოს საქმიანობის საკვანძო მაჩვენებლების კონტროლის ეფექტიანობა; **პროგნოზირების შესაძლებლობა** - BI-სისტემები ინდა იძლევოდა არა მხოლოდ ისტორიული და მიმდინარე მონაცემების გაანალიზების, არამედ პროგნოზის გაკეთების საშუალებას, რაც მნიშვნელოვნად აუმჯობესებს სტრატეგიულ დაგეგმვას; **სისტემასთან მუშაობის სიმარტივე** -

სისტემასთან მუშაობა არ უნდა იყოს ძნელად სასწავლი; **ხელოვნური ინტელექტის მეთოდების გამოყენება** - რაც ძლიერ აფართოვებს სისტემის ფუნქციებს.

BI-სისტემების შეფასებისას შეიძლება იყოს დასახელებული შემდეგი პარამეტრები: ვიზუალიზაციისა და დაშორდების შექმნის შესაძლებლობა, მონაცემებთან მუშაობა, სისტემის მოქნილობა, ოპერაციული სისტემების მხარდაჭერა, მისაერთებელი მონაცემთა წყაროების რაოდენობა, ETL-თან მუშაობა პროგრამირების გარეშე, ადმინისტრირება, სხვადასხვა ოპერაციულ სისტემებთან თავსებადობა, სატესტო პერიოდის ხანგრძლივობა, სისტემის ღირებულება.

არსებული სისტემების კვლევის შედეგად ჩამოყალიბდა სისტემების შერჩევის შემდეგი კრიტერიუმების ჯგუფები:

- იტ-სპეციალისტებისათვის: მონაცემთა საცავების ტიპი, მონაცემთა ჰოსტინგი, ჩაშენებული ETL მოდული, ღია კოდი თუ საკუთარი პროგრამული უზრუნველყოფა, უსაფრთხოება და შეცდომებისადმი ტოლერანტობა, დამატებითი მოდულები;
- ბიზნეს ანალიტიკოსების კრიტერიუმები: შიდა გამოთვლებისა და მეტაენების ხელმისაწვდომობა, მუშაობა და მეხსიერებაში დამუშავება, ვიზუალური ობიექტების პერსონალიზაცია, პოპულარული პროგრამირების ენების მხარდაჭერა, გამოსაყენებლად მზა კონექტორები;
- საბოლოო მომხმარებლის კრიტერიუმები: თვითმომსახურების შესაძლებლობები, მონაცემთა შეყვანის მხარდაჭერა, ექსპორტისა და გავრცელების ფუნქციები;
- მომწოდებლის შერჩევის კრიტერიუმები: ფინანსური პირობები, შემუშავების სტრატეგია, საზოგადოება და ტრენინგი, მომწოდებლის გამოცდილება.

რეიტინგის თანახმად, ბიზნეს-ანალიტიკის სისტემებს შორის ლიდერობენ: Microsoft Power BI, Tableau, QlikView/Qlik Sense. შემდეგ მოყვანილია ამ სისტემების ძირითადი დამახასიათებელი მხარეები [5].

Microsoft-ის Power BI-მ მნიშვნელოვანი პოპულარობა მოიპოვა BI-ბაზარზე, რომელიც გთავაზობთ მონაცემთა მომზადების, ანალიზისა და ვიზუალიზაციის ინსტრუმენტების კომპლექსურ ნაკრებს. Microsoft-ის ეკოსისტემასთან სრული ინტეგრაციის წყალობით, Power BI ნაცნობ გარემოს სთავაზობს მომხმარებლებს, რომლებიც უკვე იყენებენ Microsoft-ის პროდუქტებს. მისი მძლავრი დამოუკიდებელი ანალიტიკის შესაძლებლობები, მონაცემთა მოდელირებისა და პროგნოზირების ხელოვნურ ინტელექტზე დაფუძნებულ ფუნქციებთან ერთად, მას მიმზიდველ არჩევნად აქცევს Microsoft-ის ეკოსისტემის ორგანიზაციებისთვის.

Tableau ცნობილია მონაცემთა ვიზუალიზაციის ინტუიციური შესაძლებლობებით, რაც მომხმარებლებს საშუალებას აძლევს მარტივად შექმნან ინტერაქტიული და მიმზიდველი ვიზუალიზაცია. მისი მოსახერხებელი ინტერფეისი და „drag & drop“ გადათრევის ფუნქცია მას ხელმისაწვდომს ხდის მომხმარებლების ფართო სპექტრისთვის, ბიზნეს ანალიტიკოსებიდან დაწყებული მონაცემთა მეცნიერებით დამთავრებული. Tableau-ს ძლიერი ფუნქციები მონაცემთა კვლევისთვის, დაფის შესაქმნელად და რეალურ დროში ანალიტიკისთვის მას პოპულარულ არჩევნად აქცევს ორგანიზაციებისთვის, რომლებიც ეძებენ ვიზუალიზაციისა და მონაცემთა აღმოჩენის ძლიერ შესაძლებლობებს.

Qlik-ი გთავაზობთ ორ განსხვავებულ BI ინსტრუმენტს - QlikView-ს და Qlik Sense-ს - თითოეული მომხმარებლის სხვადასხვა მოთხოვნებს აკმაყოფილებს. QlikView ცნობილია ასოციაციური მონაცემთა მოდელით, რომელიც მომხმარებლებს საშუალებას აძლევს

დინამიურად შეისწავლონ მონაცემთა ურთიერთკავშირები. მეორეს მხრივ, Qlik Sense ფოკუსირებულია დამოუკიდებელ ვიზუალიზაციასა და დაფის შექმნაზე, აქცენტს აკეთებს მომხმარებლის შესაძლებლობების გაფართოებასა და მათ ხელმისაწვდომობაზე. ორივე ინსტრუმენტი ორიენტირებულია მონაცემთა კვლევასა და აღმოჩენაზე თავად მომხმარებლების მიერ. გამომდინარე აქედან ეს სისტემა შესაფერისია იმ ორგანიზაციებისთვის, რომლებიც ეძებენ მოქნილ და ინტერაქტიულ BI გადაწყვეტილებებს.

ყველა ჩამოთვლილი სისტემები გვთავაზობენ შესაძლებლობების ფართო სპექტრს, მონაცემების ვიზუალიზაციის, პროცესების ავტომატიზაციისა და ოპერაციული სისტემების მხარდაჭერის ჩათვლით. ბიზნეს-ანალიტიკური სისტემების ევოლუციამ გახადა ისინი ხელმისაწვდომი მომხმარებელთა ფართო წრისთვის, შეამცირა რა ამით დიდი რაოდენობით IT-სპეცილისტების მონაწილეობის საჭიროება. ასეთი სისტემების დანერგვისას არსებული სირთულეების მიუხედავად, მათი გამოყენების უპირატესობები თვალსაჩინოა. მათი გამოყენება ხელს უწყობს შრომის მწარმოებლურობის ზრდასა და გადაწყვეტილებების მიღების დაჩქარებას, რაც ხდის მმართველობით პროცესებს უფრო ეფექტურს. კომპანიების მიერ ასეთი სისტემების გამოყენება ხდება ერთერთი საკვანძო ფაქტორი კონკურენტუნარიანობის უზრუნველსაყოფად და სტრატეგიული განვითარებისთვის [6,7].

3. დასკვნა.

დასკვნის სახით, შეიძლება ითქვას, რომ ბიზნეს ანალიტიკის ინსტრუმენტის შერჩევა კრიტიკულად მნიშვნელოვანი გადაწყვეტილებაა ორგანიზაციებისთვის, რომლებიც ცდილობენ მონაცემების გამოყენებას სტრატეგიული გადაწყვეტილებების მისაღებად. თითოეული BI ინსტრუმენტი გვთავაზობს უნიკალურ მახასიათებლებს, ძლიერ მხარეებსა და შეზღუდვებს, რომლებიც აკმაყოფილებს მომხმარებლის მრავალფეროვან მოთხოვნებსა და ორგანიზაციულ საჭიროებებს. საბოლოო ჯამში, BI-ის არჩევანი უნდა შეესაბამებოდეს ორგანიზაციის კონკრეტულ მიზნებს, ტექნიკურ ინფრასტრუქტურას და მომხმარებლის შესაძლებლობებს. ამ მიზნით უნდა იყოს გათვალისწინებული მთელი რიგი მახასიათებლები და კრიტერიუმი, რომელიც დახასიათებულია წინამდებარე სტატიაში.

ლიტერატურა:

1. **Luminita Hurbean, Florin Militaru, Valentin Partenie Munteanu, Doina Danaiaata. Doina Fotache, Mihaela Muntean**, Assessing the Influence of Business Intelligence and Analytics and Data-Driven Culture on Managerial Performance: Evidence from Romania, 2025.
<https://doi.org/10.3390/systems13010002>.
2. **მ. თევდორაძე, ი. გაიშვილი, თ.ასათიანი**, BI-სისტემების თანამედროვე მდგომარეობა და მომავალი ტენდენციები. საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის 100 და იმს ფაკულტეტის 65 წლისთავისადმი მიძღვნილი საერთაშორისო სამეცნიერო-პრაქტიკული კონფერენციის „ინოვაციები და თანამედროვე გამოწვევები 2022“ შრომათა კრებული. ISBN 978-9941-28-944-6, 18-19.11.2022. გვ. 246-250.
3. **მ. თევდორაძე, ი. გაიშვილი, თ.ასათიანი**, მონაცემთა საცავების გავლენა BI-ის და ბიზნესის ეფექტიანობაზე. საერთაშორისო სამეცნიერო-პრაქტიკული კონფერენციის „თანამედროვე გამოწვევები და მიღწევები ინფორმაციულ და საკომუნიკაციო ტექნოლოგიებში - 2023“ შრომათა კრებული. ISBN 978-9941-512-06-3. 12-13.10.2023. გვ. 298-305.

4. Andres Fortino, PhD. Data Mining and PreDictive analytics for Business Decisions. s.l. : Mercury Learning and inforMation LLC., 2023. ISBN: 978-1-68392675-7.
5. Solange Flatt „Tableau vs Power BI: A Comparative Analysis of Core Business Intelligence Use Cases“, <https://www.argusa.ch/insights/tableau-vs-power-bi-a-comparative-analysis-of-core-business-intelligence-use-cases>
6. **Montserrat Jiménez-Partearroyo, Ana Medina-López**, Leveraging Business Intelligence Systems for Enhanced Corporate Competitiveness: Strategy and Evolution, 2024.
<https://DOI: 10.3390/systems12030094>.
7. Emerald Insight Business Intelligence and Its Impact on Decision Making, 2023.
<https://doi.org/10.1108/S1569-37592023000111C014>

Analysis of business-analytics systems and aspects of their usage

Medea Tevdoradze, Tamar Asatiani, Ia Giashvili

Georgian Technical University

medeat@gtu.ge, t.asatiani@gtu.ge, i.giashvili@gtu.ge

Abstract

In the article it is given analysis of modern business analytics systems. It is noted that the use of BI-systems significantly increases the effectiveness of management decisions. The functions of BI-systems, the main tools are characterized. In addition, it is noted that each system has its own indicators, and the organization should study them well in order to make the right choice. There are presented the main parameters and characteristics by which it is possible to characterize BI-type systems and with which organizations can make informed decisions to select the BI tool that meets their operational and analytical requirements in the best way.

The main analytical tools are characterized, their functional characteristics, the use of which significantly increases the effectiveness of strategic and tactical decisions, as well as the main advantages and tasks that are solved with the help of BI-systems. An analysis of leading BI-systems is conducted and their competitive advantages are highlighted.

Keywords: Business Intelligence systems, data analytics, selection criteria and parameters, decision-making support

The Role of Smart Solutions in Modeling the Security Problems of Water Resources in RA

Tigran Karapetyan, Aram Karapetyan

Yerevan State University, Yerevan, Armenia

tigrankarapetyana@gmail.com, akarapetyan@ysu.am

Abstract

The purpose of the work is to apply functions (investments and legal processes) aimed at reducing NRW in order to solve the problems of increasing the efficiency of water resources (drinking and irrigation water) supply and consumption. The object of the research is the water resources system of RA and its components. The subject of the research is the principles of water resources supply/management, economic-mathematical methods and models, which are aimed at assessing the increase of the efficiency of water resources supply and consumption with the help of system improvement.

Keywords: water resources, NRW - non-revenue water, water supply efficiency, system improvement

1. Introduction.

In the Republic of Armenia, the water resources management system is considered one of the most important branches of the country's economy. The solution of problems related to water supply of the population and irrigation of irrigable lands are due to its flexible management. Water is one of the main valuable resources of our country, which should be treated with utmost care and precise targeting. In recent years, many projects have been carried out on the development of the irrigation system, the most important of which are the projects on the construction of reservoirs. Despite all these, there are many other challenges in the field. Our goal is to integrate **global smart city principles into Armenia's water management system which can enhance its efficiency, ensuring sustainable urban growth and resilience to environmental challenges.**

2. Materials and Methods.

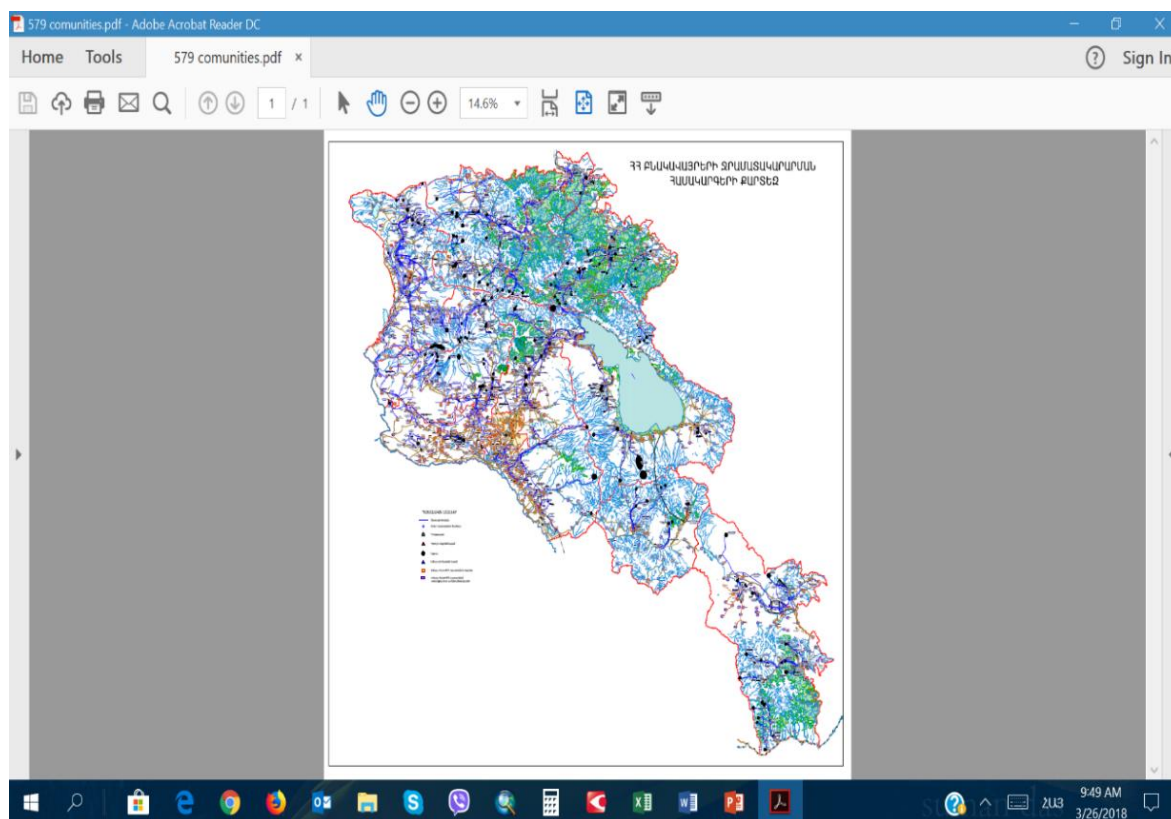
"The main objective I set by us in the field of water resources is to strongly increase the efficiency of water resources management, by which a proper response to the developments in the agricultural sector, in particular, to the gradual increase of agricultural irrigated lands, as well as to the increase in temperature and the recorded decrease in precipitation caused by climate change, will be ensured."

The strategy for improving the financial sustainability of the irrigation sector states:

- increase in the efficiency of irrigation services, assurance in the continuity of service provision and the maintaining of accessibility;
- improvement of the financial viability and sustainability of irrigation water system companies (water user companies and water receiving companies) by strengthening the prerequisites for a transition to current cost recovery;
- maintaining and upgrading irrigation systems and infrastructure;
- increase in the effectiveness of the investment of state financial support provided to the irrigation system;

Technologies like IoT-enabled sensors and GIS systems can enhance the efficiency of water systems by providing real-time monitoring and improving resource allocation.

Predictive analytics can aid in anticipating system inefficiencies and enabling proactive maintenance, ensuring a reduction in non-revenue water and improved service delivery.



The video-methodical basis for the research were the principles of water resources supply, the results of economic research, publications and monographs related to commercial, investment and financial optimal management and modeling, as well as RA laws, government decisions and RA economic development trends and processes.

Areas of application are: irrigation, provision of water and wastewater services aiming at increasing the efficiency of operations and reducing losses.

Results and Discussion:

During the research, a number of scientific results will be obtained from which the following provisions will be distinguished as scientific innovations:

- New methods and models and tools and steps for their application;
- Implementation in educational processes;

A cost-benefit analysis of transitioning to smart water infrastructure will highlight the long-term savings achieved through reduced inefficiencies and better resource utilization.

Insights from global smart water management practices indicate that Armenia can leverage these innovations to enhance its water systems, aligning with international smart city frameworks.

Addressing transboundary resource vulnerabilities through smart monitoring systems and international collaboration is critical to ensuring long-term water security in Armenia.

3. Conclusion.

What is non-revenue water?

Non-revenue water includes all water supplied by a utility that does not generate revenue. This includes both actual losses such as leaks and physical damage to the distribution system and apparent losses resulting from theft, illegal connections or inaccuracies in metering devices. The goal of water utilities is to minimize NRW to ensure that a greater percentage of supplied water reaches the paying customers. Thus, integrating smart metering systems, combined with automated leak detection technologies will provide effective tools for reducing non-revenue water in both urban and agricultural sectors.

How to reduce non-revenue water in irrigation systems?

- What modern technologies are needed to be used and/or applied to reduce it in intra-community distribution networks?
- What legal, financial and commercial reforms are needed to reduce it?
- What cost-benefit calculations and analysis are needed to be done?
- What financial calculations are needed to compare different utility service providers?

Theoretical and applied significance of the research

- Creation of a complete system of RA water resources management, which will be proposed to be implemented in the Water Committee of the Ministry of the Territorial Administration and Infrastructure of the Republic of Armenia (WC of MTAI of the RoA).
- Ensuring the full use of reliable data in the water supply system based on the use of modern information processing methods for operational, diagnostic, repair, and construction works.
- Representation of spatial data of main pipelines of the Water and Wastewater (W&W) and Irrigation system by means of maps and technological schemes;
- Visualization of the interrelationship of W&W and Irrigation system objects through maps and schemes;
- Obtaining information on the problem areas of the water supply system and irrigation system;
- Consumption distribution study and forecasting;
- Water system asset management

The integration of IoT sensors, GIS systems, and advanced data analytics will provide a robust framework for improving operational diagnostics and optimizing asset management.

Smart solutions will enable real-time visualization of the interconnections between water and wastewater systems, aiding policymakers in resource planning and sustainable development.

Comparison of Digital Signature Algorithms based on Elliptic curves for Blockchain Technologies

Sergii Khrypko

Alfred Nobel University, Ukraine

ur9qq@ukr.net

Abstract

Blockchain is based on complex mathematical methods such as public key cryptography, hash functions, and digital signatures. They ensure the security and immutability of data. The question arises – which of the elliptic curve digital signature algorithms provides the optimal balance between speed, attack resistance, and compactness in the blockchain environment? The Schnorr algorithm demonstrates higher performance, reduced signature size, and improved support for multisignature schemes compared to traditional ECDSA, making it a promising choice for next-generation blockchain protocols. Therefore, a critical analysis of the efficiency and robustness of digital signature algorithms based on elliptic curves (ECDSA, EdDSA, Schnorr) in the context of blockchain technology is the task of this work, aimed at assessing their suitability for modern security and performance requirements.

Keywords: Ecdsa, Eddsa, Schnorr, Blockchain Technologies, Elliptic Curves

1. Introduction.

The task of this work is to critically analyze the efficiency and stability of digital signature algorithms based on elliptic curves (ECDSA, EdDSA, Schnorr) in the context of blockchain technologies in order to assess their compliance with modern security and performance requirements.

The mathematical methods that underlie blockchain are elliptic curves, ECDSA, and keys [1]. These principles are consistent with previously formalized mathematical methods for blockchain systems [2].

A fundamental part of blockchain is cryptographic algorithms. One such algorithm is ECDSA – Elliptic Curve Digital Signature Algorithm, which uses elliptic curves and finite fields for signing data. It is designed to allow a third party to verify the authenticity of the signature, eliminating the possibility of forgery. ECDSA signature and verification use different procedures consisting of several arithmetic operations.

Elliptic Curves.

Let K be a field. An elliptic curve over this field is a cubic curve defined by a cubic equation with coefficients from K and a point at infinity. One common form of elliptic curves is the Weierstrass form:

$$y^2 = x^3 + ax + b \quad (1)$$

In Bitcoin, the elliptic curve secp256k1 is used, where $a = 0$ and $b = 7$. Elliptic curves have several properties: for example, a non-vertical line that intersects two distinct points P and Q on the curve also intersects a third point R . Point addition and doubling are defined using these geometric properties, and scalar multiplication $R = kP$ is defined by repeated addition.

2. Methodology.

The specific implementation used in Bitcoin is secp256k1, part of the Standards for Efficient Cryptography (SEC). In ECDSA, the private key is a random number between 1 and the order of the base point G . The public key is computed as:

$$\text{Public key} = \text{private key} \cdot G$$

This demonstrates that the maximum number of private keys (and therefore Bitcoin addresses) is normal, and equal to the order. However, the order is an incredibly large number, namely 2^{256} to the power, so it is unrealistic to accidentally or intentionally pick up another user's private key with modern technology. In a continuous field we can plot a tangent line and determine the public key on the graph, but there are some equations that do the same thing in the context of finite fields. The pointwise addition of $p + q$ to find r is defined component-wise as follows:

$$c = (q_y - p_y) / (q_x - p_x), \quad r_x = c^2 - p_x - q_x, \quad r_y = c \cdot (p_x - r_x) - p_y \quad (2)$$

The dot product of p to find r looks like this:

$$c = (3 \cdot p_x^2 + a) / 2p_y, \quad r_x = c^2 - 2 \cdot p_x, r_y = c \cdot (p_x - r_x) - p_y \quad (3)$$

In practice, the calculation of the public key is broken down into a series of point product and addition

operations, starting from a base point.

Let's look at an example from the other side, using small numbers, to get an idea of how keys are created and used for signing and verification.

To illustrate the principle, consider a toy example with small parameters:

- Equation: $y^2 = x^3 + 7$ (i.e. $a = 0$ and $b = 7$)
- Number by module: 67
- Base point: (2, 22)
- Order: 79
- Private key: 2

First, we will find the public key. Since we have chosen the simplest possible private key with a value of 2, this will only require the operation of doubling one point from the base point.

The calculation is presented as follows:

$$c = (3 \cdot 22 + 0) / (2 \cdot 22) \bmod 67 \quad c = (3 \cdot 4) / (44) \bmod 67 \quad c = 12/44 \bmod 67$$

But, the result must be an integer. So, we need to multiply by the reciprocal, which space does not allow us

to specify here. In this case, we will have to trust ourselves for the moment that:

$$44^{-1} = 32$$

Calculate:

$$c = 12 \cdot 32 \bmod 67, \quad c = 49 \quad r_x = (49^2 - 2 \cdot 2) \bmod 67 \quad r_x = 52 \quad r_y = (49 \cdot (2 - 52) - 22) \bmod 67 \quad r_y = 7.$$

The calculation of the public key is performed using the same operations of doubling and adding points. This

is a trivial task that a regular personal computer or smartphone can solve in milliseconds. But the inverse problem (deriving the private key from the public key) is a discrete logarithm problem, which is considered and is currently computationally difficult. The best-known algorithms for solving it, such as Pollard's, have exponential complexity.

For secp256k1, to solve this problem, you need to do about 2 to the 256th power of operations, which requires computing time on a regular computer compared to the time of the existence of the universe. Therefore, the transition from a private key to a public key is by design a one-way trip.

As with the private key, the public key is usually represented as a hexadecimal string. In an uncompressed public key, two 256-bit numbers representing the x and y coordinates are simply strung together into one long string. You can use the symmetry of the elliptic curve to create a compressed public key, storing only the x value and determining which half of the curve the point is on. From this partial information, you can reconstruct both coordinates.

Given the increasing demands for scalability, security, and efficiency of blockchain systems, special attention should be paid to a critical analysis of the digital signature algorithms underlying transactions. It is known that the ECDSA algorithm used in Bitcoin and many other blockchain platforms has a number of limitations, in particular in the area of protection against nonce misuse, the complexity of implementing multisignature, and the inefficient size of signatures.

3. Discussion.

The alternatives to ECDSA have significant advantages in terms of performance, security, and multi-user support. In particular: (Table 1):

- Schnorr is optimal for multisignature implementation and reducing blockchain data size.
- Ed25519 is a universal solution for fast signing and secure authentication.

Their adoption in real systems demonstrates the evolution of cryptographic standards towards greater efficiency, confidentiality, and scalability.

Table 1. Comparison of alternatives

Characteristic	ECDSA	EdDSA (on Curve25519)	Schnorr
Resistance to attacks	High, but there are side attacks when using nonce incorrectly	default nonce error protection	High, mathematically simpler
Signature size	~70 bytes	~64 bytes	~64 bytes
Multisignature support	Complicated	Limited	High (MuSig, MuSig2)
Verification speed	Good	High speed	Ambulance
Implementation complexity	High	Simpler	Simpler

The research objective was to evaluate the performance of the most common digital signature algorithms on elliptic curves in the context of blockchain applications: key generation time, signature creation and verification.

4. Results.

The experimental evaluation was conducted in Python 3.11 using libraries: ecdsa for ECDSA, PyNaCl for Ed25519, and coincurve for Schnorr (secp256k1). Testing was performed on Intel Core i5-8250U, 16GB RAM, Windows 11. Average execution times (1000 runs).

The total operation time for each algorithm was:

- ECDSA time : 0.003006458282470703
- EdDSA time : 0.003509044647216797
- Schnorr time : 0.0030078887939453125

The results are shown in the Table 2 and in Fig. 1.

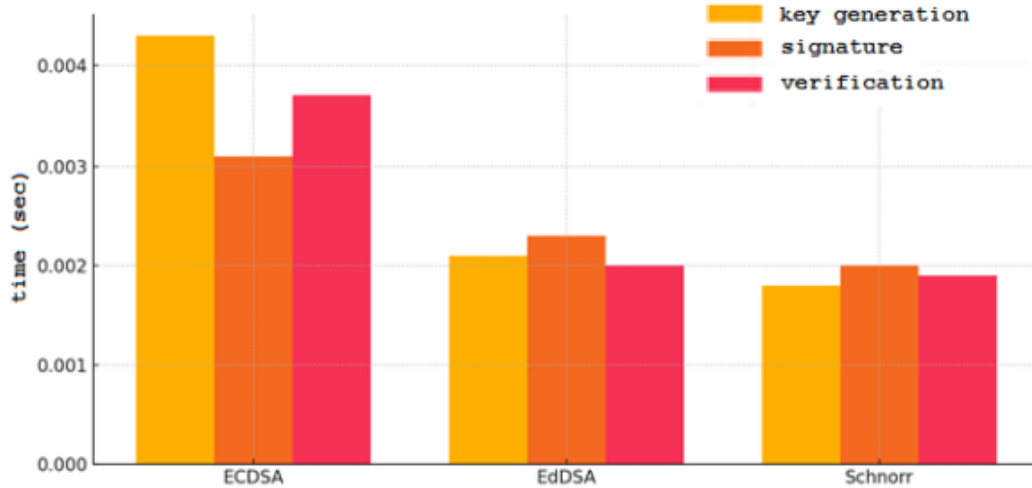


Fig.1. Summary of Timing Results (average of 1000 runs)

First, the keys and signatures were generated. Then the time for each algorithm was measured. Using algorithm functions were accepted generation keys, signature and verification. After which the execution time of each stage was measured.

The generalized value of time consumption was calculated for the function :

$$T_{sig}(x) = a \cdot \log_2(n) + b$$

where x - key length, n - number of repetitions.

Table 2. Operation time for each algorithm

Algorithm	Key generation	Signature	Verification
ECDSA	0.0043 sec	0.0031 sec	0.0037 sec
EdDSA	0.0021 sec	0.0023 sec	0.0020 sec
Schnorr	0.0018 sec	0.0020 sec	0.0019 sec

To demonstrate the trade-off between the size of a cryptographic signature and the speed of its verification for different digital signature algorithms, a combined graph of the type was constructed. Therefore, the chart is useful for justifying algorithm selection in systems with limited computational or memory resources.

Schnorr and Ed25519 outperform ECDSA in both signature size and verification speed. Schnorr additionally supports multisignatures and aggregated verification, making it ideal for scalable blockchain systems. EdDSA provides strong resistance to nonce misuse attacks, making it reliable in high-load systems.

EdDSA algorithm (in particular, Ed25519) has also demonstrated high performance, especially in signature

verification, as well as resistance to attacks related to the incorrect use of pseudo-random nonce values, making it a reliable alternative to ECDSA in high-load systems.

Instead, ECDSA, while remaining the most widely used algorithm in classical blockchain systems (Bitcoin, Ethereum), is inferior to modern alternatives in both performance and structural flexibility. The experimental results are consistent with the previously formulated hypothesis regarding the advantages of the Schnorr algorithm in the context of security, speed, and scalability. In addition, an example with a public key obtained for a private key 2 in a finite field (modulus 67), corresponding to the point (52, 7), confirms the correctness of the implementation of elliptic cryptography algorithms under simulation conditions. This fragment confirms the principles underlying the mathematical basis of the blockchain and demonstrates the application of basic operations on elliptic curves in practice.

Thus, the results obtained can serve as a basis for further research, and can also be used to select the optimal signature algorithm when designing new generation blockchain systems, in particular in systems that require high performance, support for multisignatures or data compression, and with the selection of optimal cryptographic algorithms for different types of blockchain protocols, considering their limitations and scalability requirements.

5. Conclusion.

This study provided theoretical analysis and experimental evaluation of digital signature algorithms based on elliptic curves (ECDSA, EdDSA, Schnorr) in blockchain applications. The Schnorr algorithm demonstrated the highest performance across all cryptographic operations, along with simplified multisignature schemes. The experimental results confirm its advantages in speed, security, and scalability. EdDSA also proved to be highly efficient, while ECDSA remains widely used but less flexible.

References:

1. Johnson D., Menezes A., Vanstone S. The elliptic curve digital signature algorithm (ECDSA). International Journal of Information Security, vol. 1, no. 1, pp. 36-63, 2001.
URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/s102070100002>
2. Sherbakov S., Khrypko S. Mathematical methods that underlie blockchain. Proceedings of the XI International Scientific and Practical Conference ISMSC-24, Zagreb, Croatia, Feb 21-23, 2024. pp.60-66.
URL: https://essuir.sumdu.edu.ua/bitstream-download/123456789/94852/1/Brovkina_argot.pdf
3. Vaudenay S. The Security of DSA and ECDSA. International Workshop on Public Key Cryptography, Springer, Berlin, Heidelberg, pp. 309-323, 2003.
URL: https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/3-540-36288-6_23.pdf

Limit theorems for age-dependent branching process with emigration

Soltan Aliyev^{1,2}, Irada Ibadova²

¹Institute of Mathematics and Mechanics, Baku, Azerbaijan

²Institute of Control Systems Baku, Azerbaijan

soltanaliyev@yahoo.com, ibadovairade@yandex.ru

Abstract

In this paper we consider age-dependent branching processes with emigration as a part of the same process. We prove limit theorems for the process that describe number of particles which emigrated.

Keywords. branching processes, stochastic additive functional, critical branching processes, emigration, perron root, moments.

1. Introduction

We will define multi-type age –dependent branching process with emigration by analogy with [2].

As in the multi-type process without emigration we have n types of particles $T_1, T_2, \dots, T_n$. Each T_i -th type particle has random duration of ‘presence’ in process τ_i with distribution function

$$P(\tau_i \leq t) = G^i(t), G^i(0+) = 0$$

We will assume that $G^i(t)$ are absolutely continuous.

At the end of its presence particle of any type is transformed into arbitrary number of particles of any types or emigrate. And let’s define type T_0 as a type of particles which emigrated. Conditional probability (if transformation took place when the age attained by the original particle was u) $p_\alpha^i(u)$ of transformation into a set consisting of α_i T_i – th type particles, $i = \overline{0, n}$, where $\alpha = (\alpha_0, \alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n)$ is $n+1$ -dimensional vector and α_0 can be 0 (in this case other components of vector take non-negative integer values) or 1 (in this case other components of vector are zeroes). Evolution of particle is defined by joint distribution of random variable τ_i and random vector $v_i = (v_i^0, v_i^1, \dots, v_i^n)$, which characterize progeny of this particle.

$$P(\tau_i \in B, v_i = \alpha) = \int_B p_\alpha^i(u) dG^i(u)$$

Particle of type T_0 at any moment transforms into itself (or doesn’t transform, you can interpret it either way), so it can be viewed as T_0 -th type particle has degenerate at zero life duration distribution function ($G^0(t) = 1, \forall t > 0$). Also we will assume that $p_1^0(u) = 1, p_\alpha^0(u) = 0$ for all $u \geq 0$ and all vectors $\alpha \neq (1, 0, \dots, 0)$, where $1 = \underbrace{(1, 0, \dots, 0)}_{n+1}$. Vector $\mu_i(t) = (\mu_i^0(t), \mu_i^1(t), \dots, \mu_i^n(t))$ denotes number of particles of

types $T_0, T_1, T_2, \dots, T_n$ at the moment t , under the condition, that at initial moment there existed one T_i – th type particle. And let’s also assume, that vector are right continuous.

Let’s denote by $P^i(*)$ conditional probability, under condition that at initial moment of time there existed one particle of type T_i .

Let’s also introduce generating functions

$$h^i(t, s) = \sum_{\alpha} p_\alpha^i(t) s^\alpha \text{ and } F^i(t, s) = \sum_{\alpha} P^i(\mu_i(t) = \alpha) s^\alpha, i = \overline{0, n},$$

$$s = (s_0, s_1, \dots, s_n), s^\alpha = s_0^{\alpha_0}, s_1^{\alpha_1}, \dots, s_n^{\alpha_n},$$

$$F(t, s) = (F^0(t, s), F^1(t, s), \dots, F^n(t, s)), h(t, s) = (h^0(t, s), h^1(t, s), \dots, h^n(t, s)).$$

It's clear that $F^0(t, s) = h^0(t, s) = s_0$ for all t .

Lemma 1. Generating functions $F^i(t, s)$ satisfy with $s \leq 1$ and $t \geq 0$ next system of integral equations:

$$F^i(t, s) = \int_0^t h^i(u, F(t-u, s)) dG^i(u) + s_i(1 - G^i(t)), i = \overline{0, n}. \quad (1)$$

Proof of this lemma is analogical to proof of the theorem 1 [2], p.234.

2. Moments

During the paper we will use following notations:

$$\begin{aligned} \alpha_j^i(u) &= \frac{\partial h^i(u, s)}{\partial s_j} \Big|_{s=1}, \quad A_j^i = \int_0^\infty \alpha_j^i(u) dG^i(u), \\ b_{jk}^i(u) &= \frac{\partial h^i(u, s)}{\partial s_j \partial s_k} \Big|_{s=1}, \quad B_{jk}^i = \int_0^\infty b_{jk}^i(u) dG^i(u), \\ A_{\rho k}^l &= \int_0^\infty u e^{-\rho u} a_k^l(u) dG^l(u), \quad B_{\rho jk}^l = \int_0^\infty e^{-2\rho u} b_{jk}^l(u) dG^l(u), \\ M^k &= \int_0^\infty u dG^k(u), \quad M_a^{lk} = \int_0^\infty u a_k^l dG^l(u), \end{aligned}$$

$$B = \sum_{l,k,m=1}^n B_{mk}^l v^l u^k u^m, \quad M_a = \sum_{l,k=1}^n M_a^{lk} v^l u^k, \quad M_0 = \sum_{l=1}^n v^l \int_0^\infty a_0^l(u) dG^l(u),$$

where ρ denotes such number, that perron root of matrix $e^{-\rho} \|A_j^i\|_{i,j=\overline{1,n}}$ equals to one, $u_\rho = (u_\rho^1, u_\rho^2, \dots, u_\rho^n)$ and $v_\rho = (v_\rho^1, v_\rho^2, \dots, v_\rho^n)$ denote right and left eigenvectors of this matrix, $(v_\rho, 1) = \sum_{k=1}^n v_\rho^k = 1$ (in critical case $\rho = 0$ and we denote $u_\rho = u, v_\rho = v$).

We will call described above branching process (b.p) ξ . We will also introduce additional b.p. ξ' , which differ from ξ only by the fact, that conditioned probability of transforming into the empty set $p_0^i(u)$ equals to the sum of $p_0^i(u)$ and $p_1^i(u)$ where $0 = \underbrace{(0, 0, \dots, 0)}_{n+1}$. So process ξ' could be seen simply as a multi-type age dependent process. We will call process ξ subcritical (critical or supercritical) iff ξ' is subcritical (critical or supercritical) (see, for example, [2]). It's clear that moments $A_j^{i'}$ of process ξ' , for $i, j = \overline{1, n}$, and it's also clear that $a_0^i(u) = p_1^i(u)$.

Now consider matrix $A = \|A_j^i\|_{i,j=\overline{0,n}}$ of moments of process ξ

Obviously $A_0^0 = 1$ and $A_j^0 = 0 \quad \forall j = \overline{1, n}$. Then has A from $\begin{bmatrix} 1 & 0 \\ A_0 & A' \end{bmatrix}$, where A' is matrix of moments of process ξ' , $A_{10} = (A_0^1, A_0^2, \dots, A_0^n) 1 = 1, 0 = \underbrace{(0, 0, \dots, 0)}_n$.

3. Supercritical case.

As we mentioned above, our b.p. is a special type of decomposable branching processes, but it turns out that we could apply theory of stochastic additive functionals from b.p. (see [3]) to our case. In fact we

can interpret processes $\mu_0^i(t)$ where amount of product $\gamma(t)$ (which depends on type of particle, age at the moment t and life duration (we called it presence above)), produced by 1 particle during the time period $0 \leq t \leq \tau$, (τ as usually denote life duration) is

$$\gamma(t) = \begin{cases} 1, & \text{if particle emigrates at moment } \tau, \\ 0, & \text{otherwise,} \end{cases}$$

Analogy of theorem 2 (and corollary 1) [3] takes place, which also can be proven using slight modification of results obtained in [1], if we approach this as decomposable b.p.:

Theorem 1. If process ξ is supercritical, $A_{\rho k}^l(u)$ and $B_{\rho k}^l$ are finite, $i, j, k = \overline{1, n}$, than random variables (r.v.) $\frac{e^{-\rho t} \mu_0^i(t)}{K}, \frac{e^{-\rho t} \mu_1^i(t)}{K_1}, \dots, \frac{e^{-\rho t} \mu_n^i(t)}{K_n}$ converge as $t \rightarrow \infty$ in square mean to the same limit μ^i , where

$$K = \frac{\sum_{l=1}^n \nu_{\rho}^l \int_0^{\infty} e^{-\rho t} \int_0^t a_0^i(u) dG^i(u) dt}{\sum_{l,m=1}^n \nu_{\rho}^l u_{\rho}^m \int_0^{\infty} t e^{-\rho t} a_j^i(t) dG^l(t)}, \quad K_l = \frac{\nu_{\rho}^l \int_0^{\infty} e^{-\rho t} \int_0^t (1 - G^i(t)) dt}{\sum_{l,m=1}^n \nu_{\rho}^l u_{\rho}^m \int_0^{\infty} t e^{-\rho t} a_j^i(t) dG^l(t)}, \quad l = \overline{1, n}$$

Furthermore, Laplace transform $\phi^l(s)$ of limit r.v. μ^l , satisfies equation

$$\phi^l(s) = \int_0^{\infty} h^l(u, \phi(se^{-\rho u})) dG^l(u), \quad (2)$$

with initial condition $\phi^l(0) = u_{\rho}$, where $\phi(s) = (\phi^1(s), \dots, \phi^n(s))$.

Corollary 1. If conditions of theorem 1 are satisfied, than distributions

$$P^i \left(\frac{\mu_0^i(t)}{\sum_{k=1}^n \mu_k^i(t)} \leq x \mid \sum_{k=1}^n \mu_k^i(t) > 0 \right), \quad i = \overline{1, n} \text{ converge to the degenerate distribution, localized at the point}$$

$$\frac{\sum_{l=1}^n \nu_{\rho}^l \int_0^{\infty} e^{-\rho t} \int_0^t a_0^i(u) dG^i(u) dt}{\sum_{l=1}^n \nu_{\rho}^l \int_0^{\infty} e^{-\rho t} (1 - G^i(t)) dt}.$$

4. Critical case.

In order to formulate theorem for critical case we will compare processes $\mu_0^i(t)$ with processes $N^i(t)$ – total number of particles born by the moment of time t , if at the moment $t=0$ there existed one particle of type T_i .

Let $N_j^i(t)$ denote number of particles of type T_j , born by t , the $N^i(t) = \sum_{j=1}^n N_j^i(t)$. It is known [4] (in

this paper is considered case with constant $p_{\alpha}^i(u) = p_{\alpha}^i$ for all u , but

$$E \left(\exp \left\{ i \sum_{j=1}^n \beta^j N_j^i(t) / v^j t^2 \right\} \middle| \sum_{j=1}^n \mu_j^i(t) \right) \xrightarrow{t \rightarrow +\infty} \left(2B \sum_{j=1}^n \beta^j \right)^{1/2} / M_\alpha \left(sh \left(\left(2B \sum_{j=1}^n \beta^j \right)^{1/2} / M_\alpha \right) \right).$$

Then by letting $\beta^j = v^j \beta$, and since $\sum_{j=1}^n v^j = 1$, we get

$$E \left(\exp \{ i \beta^j N^i(t) / t^2 \} \middle| \sum_{j=1}^n \mu_j^i(t) \right) \xrightarrow{t \rightarrow +\infty}, \quad \Leftrightarrow (2B\beta)^{1/2} / M_\alpha \left(sh \left((2B\beta)^{1/2} / M_\alpha \right) \right). \quad (3)$$

Also from [4] we can establish asymptotic behavior of moments $E^i(N_i(t))$ and $E^i(N_i^2(t))$:

$$E^i(N_i(t)) \sim \frac{u^i t}{M_\alpha}, \quad E^i(N_i^2(t)) \sim B \frac{u^i t^3}{3(M_\alpha)^3}.$$

Theorem 2. If the following conditions are satisfied:

- i) integrals M^j, M_a^{jk}, B_{jk}^i are finite;
- ii) $\int_0^\infty \int_t^\infty a_0^l(u) dG^l(u) dt = k_0^l < +\infty$;
- iii) $\lim_{t \rightarrow \infty} t^2 \int_t^\infty a_t^k(u) dG^l(u) < +\infty$, $\lim_{t \rightarrow \infty} t^2 (1 - G^l(t)) < +\infty$, $l, k, j = \overline{1, n}$, then

$$E \left(\exp \{ i \beta^j \mu_0^i(t) / t^2 \} \middle| \sum_{j=1}^n \mu_j^i(t) \right) \xrightarrow{t \rightarrow +\infty}, \quad (2BM_0\beta)^{1/2} / M_\alpha \left(sh \left((2BM_0\beta)^{1/2} / M_\alpha \right) \right).$$

References:

1. Crump, K.S., On system of renewal equations: The reducible case, Journal of Mathematical Analysis and Applications, 31(3), 517-528 (1970)
2. Sevastyanov, B.A., Branching processes (in Russian) Nauka, Moscow (1971)
3. Shurenkov, V.A., On additive functionals of branching processes, Theory of Probability and its Applications, 24(2), 396-401 (1979)
4. Weiner, h.J. Total progeny in a multitype critical age dependent branching process with immigration, Journal of Applied Probability, 11(3), 458-470 (1974)

On Informational and Some Other n -Widths of Classes of Analytic Functions in a Disk

Sergii Vakarchuk, Mykhailo Vakarchuk

Alfred Nobel University, Dnipro

sbvakarchuk@gmail.com, mihailvakarchuk@gmail.com

Abstract

In the linear normed spaces $\tilde{B}(p, q, \lambda)$, $0 < p < q \leq \infty$, $\min(q, \lambda) \geq 1$, the classes of functions analytic in the circle U_R , $R \geq 1$, are considered. These classes are defined by averaged moduli of continuity of second order and majorants. The exact values of the informational, linear and Bernstein n -widths of such classes are computed. The optimal method of recovery of functions from indicated classes are found too in the spaces $\tilde{B}(p, q, \lambda)$.

Key words: n -width, class of functions, moduli of continuity, majorant, optimal method of recovery.

1. Introduction.

Let $\mathbb{X}$ be a linear normed space and $\mathbb{B}$ the unit ball in it, $\mathcal{K}$ a convex centrally symmetric set from $\mathbb{X}$ containing null, $L_n \subset \mathbb{X}$ a linear n -dimensional subspace, $\Lambda: \mathbb{X} \rightarrow L_n$ a linear continuous operator from $\mathbb{X}$ into L_n , $\mathbb{Y}$ an arbitrary linear normed space containing $\mathcal{K}$, $\mathbb{Y}^*$ the dual space to $\mathbb{Y}$, $\{l_j\}_{j=1}^n \subset \mathbb{Y}^*$ an arbitrary set of linear functionals, $\mathbb{C}^n$ Cartesian product of n specimens of the set of complex number $\mathbb{C}$, $V: \mathbb{C}^n \rightarrow \mathbb{X}$ a linear operator continuous from $\mathbb{C}^n$ into $\mathbb{X}$.

The quantity

$$i_n(\mathcal{K}, \mathbb{X}) = \inf \left\{ \inf \left\{ \sup \left\{ \|f - V(l_1(f), \dots, l_n(f))\|_{\mathbb{X}} : f \in \mathcal{K} \right\} : V: \mathbb{C}^n \rightarrow \mathbb{X} \right\} : \mathcal{K} \subset \mathbb{Y}, \{l_j\}_{j=1}^n \subset \mathbb{Y}^* \right\}$$

is called the informational n -widths of a set $\mathcal{K}$ in $\mathbb{X}$ [1; ch.4, 4.1]. In fact, by analogy [2], a set of linear functionals $\{l_j\}_{j=1}^n \subset \mathbb{Y}^*$, where $\mathcal{K} \subset \mathbb{Y}$, participating in the determination of the quantity $i_n(\mathcal{K}, \mathbb{X})$, can be considered as a coding method, which associates a function $f \in \mathcal{K}$ with information about it in the form of a point from $\mathbb{C}^n$, i.e. $\{z_1 = l_1(f), \dots, z_n = l_n(f)\} \in \mathbb{C}^n$. Then $V: \mathbb{C}^n \rightarrow \mathbb{X}$ should be considered as a method of recovery of function f from $\mathcal{K}$ by a specified information. Thus, in the course of calculation two exact lower bounds in the formula for $i_n(\mathcal{K}, \mathbb{X})$, we are dealing with finding a best method of recovery $\tilde{V}: \mathbb{C}^n \rightarrow \mathbb{X}$ (if it exists) of function f from $\mathcal{K}$, provided that an optimal linear normed space $\tilde{\mathbb{Y}} \supset \mathcal{K}$ has already been found, in which $f \in \mathcal{K}$ is optimally coded by a set of linear functionals $\{\tilde{l}_j\}_{j=1}^n \subset \tilde{\mathbb{Y}}^*$. From the above it follows that it appropriate to talk about an optimal method of $(\tilde{\mathbb{Y}}, \{\tilde{l}_j\}_{j=1}^n \subset \tilde{\mathbb{Y}}^*, \tilde{V})$ - recovery (if it exists) of functions from a class $\mathcal{K}$ in a linear normed space $\mathbb{X}$. In this case we get

$$i_n(\mathcal{K}, \mathbb{X}) = \sup \left\{ \|f - \tilde{V}(\tilde{l}_1(f), \dots, \tilde{l}_n(f))\|_{\mathbb{X}} : f \in \mathcal{K} \right\}. \quad (1)$$

Remind [3; ch.1, 1.1] that the quantity

$$\mathcal{E}(\mathcal{K}, L_n)_{\mathbb{X}} := \inf \{ \sup \{ \|f - \Lambda(f)\|_{\mathbb{X}} : f \in \mathcal{K} \} : \Lambda: \mathbb{X} \rightarrow L_n \}$$

characterizes the best linear approximation of a set $\mathcal{K}$ by elements from L_n . A linear operator $\tilde{\Lambda}$ (if it exists) for which

$$\mathcal{E}(\mathcal{K}, L_n)_{\mathbb{X}} := \sup \left\{ \|f - \tilde{\Lambda}(f)\|_{\mathbb{X}} : f \in \mathcal{K} \right\}$$

defines the best linear approximation method for $\mathcal{K}$ in $\mathbb{X}$. The quantity

$$\delta_n(\mathcal{K}, \mathbb{X}) = \inf\{\mathcal{E}(\mathcal{K}, L_n)_{\mathbb{X}} : L_n \subset \mathbb{X}\} \quad (2)$$

is called the linear n -widths of a set $\mathcal{K}$ in $\mathbb{X}$. If there exists a subspace $\hat{L}_n \subset \mathbb{X}$, $\dim \hat{L}_n = n$, for which $\mathcal{E}(\mathcal{K}, \hat{L}_n)_{\mathbb{X}} = \delta_n(\mathcal{K}, \mathbb{X})$ then $\hat{L}_n$ is called extremal for the linear n -widths.

The quantity

$$b_n(\mathcal{K}, \mathbb{X}) = \sup\{\sup\{\varepsilon > 0 : \varepsilon \mathbb{B} \cap L_{n+1} \subset \mathcal{K}\} : L_{n+1} \subset \mathbb{X}\}$$

is named the Benrstein n -widths [4; ch.II, 1]. A subspace $\tilde{L}_{n+1} \subset \mathbb{X}$, $\dim \tilde{L}_{n+1} = n + 1$, such that

$$b_n(\mathcal{K}, \mathbb{X}) = \sup\{\varepsilon > 0 : \varepsilon \mathbb{B} \cap \tilde{L}_{n+1} \subset \mathcal{K}\} \quad (3)$$

is called extremal the Bernstein n -widths. If $\mathbb{X}$ and $\mathbb{Y}$ are linear normed spaces and $\mathbb{Y}$ is subspace of $\mathbb{X}$, then from definition (3) the next inequality holds

$$b_n(\mathcal{K}, \mathbb{X}) \geq b_n(\mathcal{K}, \mathbb{Y}).$$

The following relationships are satisfied between approximation characteristics of a set $\mathcal{K}$ from $\mathbb{X}$

$$b_n(\mathcal{K}, \mathbb{X}) \leq i_n(\mathcal{K}, \mathbb{X}) \leq \delta_n(\mathcal{K}, \mathbb{X}) \leq \mathcal{E}(\mathcal{K}, L_n)_{\mathbb{X}} \quad (4)$$

Based on [2] and (1) – (4) we note that the problems of the exact calculation of the quantities of n -widths and search of optimal method of $(\tilde{\mathbb{Y}}, \{\tilde{l}_j\}_{j=1}^n \subset \tilde{\mathbb{Y}}^*, \tilde{\mathbb{V}})$ - recovery are equivalent in a certain sense. However, in the second problem, unlike first, it is necessary to find a set $(\tilde{\mathbb{Y}}, \{\tilde{l}_j\}_{j=1}^n \subset \tilde{\mathbb{Y}}^*, \tilde{\mathbb{V}})$ (if it exists) that guarantees the minimum possible recovery error of a class $\mathcal{K}$ in a space $\mathbb{X}$.

A disk of radius $R \in (0, \infty)$ and a set of analytic functions in it we will denote by symbols $U_R := \{z \in \mathbb{C} : |z| < R\}$ and $\mathcal{A}(U_R)$ respectively in the complex plane. We denote $U := U_1$ for $R = 1$. We will use a quantity

$$M_q(f, \rho) := \begin{cases} \left(\frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} |f(\rho e^{it})|^q dt \right)^{1/q}, & 1 \leq q < \infty, \\ \max(|f(\rho e^{it})| : 0 \leq t < 2\pi), & q = \infty, \end{cases}$$

for a function f from $\mathcal{A}(U_R)$ and $\rho \in (0, R)$. By symbol $H_{q,R}$, $1 \leq q \leq \infty$, $R \in (0, \infty)$, we denote the Hardy space consisting of functions $f \in \mathcal{A}(U_R)$ that have a finite norm

$$\|f\|_{H_{q,R}} = \lim\{M_q(f, \rho) : \rho \rightarrow R - 0\}.$$

We put $H_q := H_{q,1}$ in case $R = 1$.

For an arbitrary function $f \in H_{q,R}$ we write the second order moduli of continuity

$$\omega_2(f, 2t)_{H_{q,R}} := \sup\{\|f(ze^{i\tau}) - 2f(z) + f(ze^{-i\tau})\|_{H_{q,R}} : |\tau| \leq t\}, t \geq 0.$$

We assume that $\Psi(t), t \geq 0$, is an arbitrary continuous increasing function such that $\Psi(0) = 0$. We will call it a majorant. Let us consider the classes of functions

$$W_{H_{q,R}}(\omega_2, \Psi; \mu) := \left\{ f \in H_{q,R} : \frac{1}{t} \int_0^t \omega_2(f, 2\tau)_{H_{q,R}} \left(1 + (\mu^2 - 1) \sin\left(\frac{\pi\tau}{2t}\right) \right) d\tau \leq \Psi(t) \forall t \in \left(0, \frac{\pi}{2}\right) \right\}, \quad \mu \geq \frac{1}{2}, \quad (5)$$

which are defined by the averaged second order moduli of continuity in $H_{q,R}$ and majorants.

The classes of functions (5) were introduced by N. Ainulloev in [5] for $R = 1$ and $1 \leq q \leq \infty$. The Kolmogorov n -widths were computed for them in the Hardy spaces H_q , $1 \leq q \leq \infty$, when a majorant Ψ satisfies the condition

$$\frac{\Psi(t)}{\Psi(u)} \geq \frac{\pi}{\pi-2} \int_0^1 \left(1 - \cos\left(\frac{\pi t x}{2u\mu}\right)\right)_* \left(1 + (\mu^2 - 1) \sin\left(\frac{\pi x}{2}\right)\right) dx \quad (6)$$

for a given $\mu \geq 1/2$ and for any values $u \in (0, \pi/2]$ and $t \in (0, \infty)$. Here

$$(1 - \cos x)_* := \{1 - \cos x \text{ for } 0 \leq x \leq \pi; 2 \text{ for } x > \pi\}.$$

Let us denote by $f^{(m)}$, $m \in \mathbb{N}$, the m -th order derivative of a function $f \in \mathcal{A}(U_R)$ by complex variable z , i.e.

$$f^{(m)}(z) = \sum_{k=m}^{\infty} \alpha_{k,m} c_k(f) z^{k-m},$$

where $\alpha_{k,m} := k(k-1) \dots (k-m+1)$, $c_k(f)$ are Taylor's coefficients of a function f . For the case $m = 0$ we assume that $f^{(0)} = f$ and $\alpha_{k,0} := 1 \forall k \in \mathbb{N}$. We will consider the classes of functions

$$W_{H_{q,R}}^m(\omega_2, \Psi; \mu) := \{f \in \mathcal{A}(U_R) : f^{(m)} \in W_{H_{q,R}}(\omega_2, \Psi; \mu)\},$$

where $R \geq 1$, $m \in \mathbb{Z}_+$. If $m = 0$ then the class $W_{H_{q,R}}^0(\omega_2, \Psi; \mu)$ is (5).

By the symbol $\tilde{\mathcal{B}}(p, q, \lambda)$, $0 < p < q \leq \infty$, $\min(q, \lambda) \geq 1$, we denote the linear normed space of complex-valued functions $f(z)$, $z \in U$, that have a finite norm

$$\|f\|_{\tilde{\mathcal{B}}(p,q,\lambda)} := \left\{ \int_0^1 (1-\rho)^{\lambda(1/p-1/q)-1} \left(\frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} |f(\rho e^{i\tau})|^q d\tau \right)^{\lambda/q} d\rho \right\}^{1/\lambda}.$$

Here the integrals are understood in the Lebesgue sense. The set of all analytic functions $f \in \mathcal{A}(U)$ for which $\|f\|_{\tilde{\mathcal{B}}(p,q,\lambda)} < \infty$ we will denote by $\mathcal{B}(p, q, \lambda)$. The spaces $\mathcal{B}(p, q, \lambda)$, $0 < p < q \leq \infty$, $\min(q, \lambda) \geq 1$, are Banach's and [6]

$$\|f\|_{p,q,\lambda} := \|f\|_{\mathcal{B}(p,q,\lambda)} = \begin{cases} \left(\int_0^1 (1-\rho)^{\lambda(1/p-1/q)-1} M_q^\lambda(f, \rho) d\rho \right)^{1/\lambda}, & 1 \leq \lambda < \infty, \\ \sup((1-\rho)^{1/p-1/q} M_q(f, \rho) : 0 < \rho < 1), & \lambda = \infty. \end{cases}$$

Extremal problems of the approximation theory in the linear normed space $\tilde{\mathcal{B}}(p, q, \lambda)$ and in the Banach space $\mathcal{B}(p, q, \lambda)$ of functions analytic in the unit disk were considered respectively in the work [7] and works [8] – [10].

2. Methodology of reasoning

It is clear from (4) that for the exact calculation of the informational n -width it is necessary to obtain the lower bound for the Bernstein n -width and upper bound for the linear n -width of a class of function and these bounds must be equal. Some principle moments of the proof of main results from [7] and [11] were used too.

The main result. Let us introduce the necessary notation for the formulation of main result of this communication.

We denote by

$$t_* := \frac{\pi}{2(n-m)\mu}, \quad \text{where} \quad \mu \geq \frac{1}{2}, \quad n \in \mathbb{N}, \quad m \in \mathbb{Z}_+, \quad n > m;$$

$$\beta_{k,m} := \frac{2(n-m)}{\pi-2} \int_0^{t_*} \left(1 - \sin((n-m)\tau\mu)\right) \cos((k-m)\tau) d\tau;$$

for $n, m \in \mathbb{N}$ and $n > m$

$$\psi_{k,m}(z) := \begin{cases} z^k, & k = \overline{0, m-1} \\ \left[R^{2(n-k)} + \frac{\alpha_{k,m}}{\alpha_{2n-k,m}} \left(\beta_{k,m} \left(1 - \left(\frac{k-m}{2n-k-m} \right)^2 \right) - 1 \right) |z|^{2(n-k)} \right] z^k, & k = \overline{m, n-1}, \end{cases}$$

and for $m = 0, n \in \mathbb{N}$

$$\psi_{k,0}(z) := \left[R^{2(n-k)} + \left(\beta_{k,0} \left(1 - \left(\frac{k}{2n-k} \right)^2 \right) - 1 \right) |z|^{2(n-k)} \right] z^k, \quad k = \overline{0, n-1},$$

where $R \geq 1, z \in U_R$;

$$\mathcal{H}_{p,q,\lambda}(n) := \{B^{1/\lambda}(n\lambda + 1, \lambda(1/p - 1/q)) \text{ for } 1 \leq \lambda < \infty; \mathcal{F}_{p,q}(n) \text{ for } \lambda = \infty\},$$

where $B(a, b), a > 0, b > 0$, is Euler integral of the first kind and

$$\mathcal{F}_{p,q}(n) := (1 + n/(1/p - 1/q))^{1/q-1/p} (1 + (1/p - 1/q)/n)^{-n}, 0 < p < q < \infty.$$

Note that the value $\mathcal{H}_{p,q,\lambda}(n) \rightarrow 0$ for $n \rightarrow \infty$.

Theorem. Let $\mu \geq 1/2$ be an arbitrary fixed number; $R \geq 1; 0 < p < q < \infty, \min(q, \lambda) \geq 1; n \in \mathbb{N}, m \in \mathbb{Z}_+$ and $n > m$; a majorant Ψ satisfies the condition (6). Then the following equalities hold:

$$\begin{aligned} b_n \left(W_{H_{q,R}}^m(\omega_2, \Psi; \mu), \mathcal{B}(p, q, \lambda) \right) &= h_n \left(W_{H_{q,R}}^m(\omega_2, \Psi; \mu), \tilde{\mathcal{B}}(p, q, \lambda) \right) = \\ \mathcal{E} \left(W_{H_{q,R}}^m(\omega_2, \Psi; \mu), \hat{L}_{n,m} \right)_{\tilde{\mathcal{B}}(p,q,\lambda)} &= \sup \left\{ \|f - \tilde{A}_{n-1,m}(f)\|_{\tilde{\mathcal{B}}(p,q,\lambda)} : f \in W_{H_{q,R}}^m(\omega_2, \Psi; \mu) \right\} = \\ &= \frac{R^{m-n}}{\alpha_{n,m}} \mathcal{H}_{p,q,\lambda}(n) \Psi \left(\frac{\pi}{2(n-m)\mu} \right), \end{aligned}$$

Where $h_n \left(W_{H_{q,R}}^m(\omega_2, \Psi; \mu), \tilde{\mathcal{B}}(p, q, \lambda) \right)$ is anyone from n -widths: i_n, δ_n or b_n . Furthermore

- 1) in the case of linear n -width $\delta_n \left(W_{H_{q,R}}^m(\omega_2, \Psi; \mu), \tilde{\mathcal{B}}(p, q, \lambda) \right)$ the subspace $\hat{L}_{n,m} := \text{span}\{\psi_{k,m}(z)\}_{k=0}^{n-1}$ is extremal;
- 2) the function

$$\tilde{A}_{n-1,m}(f, z) := \sum_{k=0}^{n-1} \eta_{k,m} c_k(f) \psi_{k,m}(z),$$

where $\eta_{k,m} := \{1 \text{ for } k = \overline{0, m-1}; R^{2(k-n)} \text{ for } k = \overline{m, n-1}\}$ when $m \in \mathbb{N}$ and $\eta_{k,0} := R^{2(k-n)}, k = \overline{0, n-1}$, when $m = 0$, is the best linear approximation method for the class $W_{H_{q,R}}^m(\omega_2, \Psi; \mu)$ in the space $\tilde{\mathcal{B}}(p, q, \lambda)$;

- 3) the exact value of the informational n -width $i_n \left(W_{H_{q,R}}^m(\omega_2, \Psi; \mu), \tilde{\mathcal{B}}(p, q, \lambda) \right)$ is realized in the linear normed space $\tilde{\mathcal{B}}(p, q, \lambda)$ by the optimal method of $\left(\tilde{\mathcal{V}} := H_q, \{\tilde{l}_j(f) := c_{j-1}(f)\}_{j=1}^n \subset \tilde{\mathcal{V}}^*, \tilde{\mathcal{V}} := \tilde{A}_{n-1,m}(f) \right)$ – recovery of a function f from the class $W_{H_{q,R}}^m(\omega_2, \Psi; \mu)$;

- 4) for the Bernstein n -width $b_n \left(W_{H_{q,R}}^m(\omega_2, \Psi; \mu), \mathcal{B}(p, q, \lambda) \right)$ the subspace $\tilde{L}_{n+1} := \text{span}\{z^k\}_{k=0}^n$ is extremal.

3. Discussion

Why the informational n -width is necessary? The calculation of such characteristic for a class of functions in a linear normed space give us, for example, the answers on the questions:

- what is the optimal method of recovery of functions from this class,
- what is a minimal number of linear functionals which are sufficiently that to recover Of functions from this class with given accuracy, ets.

The answers to these questions we can find from the main result of this message for the considered classes of functions.

References:

1. K.Yu. Osypenko, Optimal recovery of analytic functions, Nova Science Publishers, Inc., Huntington, New York (2000).
2. N.P. Korneichuk, Widths in L_p of classes of continuous and of differentiable functions, and optimal methods of coding and recovering functions and their derivatives, Math. USSR-Izv., 1982; 18, № 2, 227-247 (1982).
3. N.P. Korneichuk, Extremal problems of approximation theory, Nauka, Moscow (1976).
4. A. Pinkus, n -Widths in approximation theory, Springer – Verlag, Heidelberg (1985).
5. N. Ainulloev, Widths of classes of analytic functions in the unit disk. In the collection of scientific works: Geometric problems of the theory of functions and sets. Kalinin, 91–101 (1986).
6. M.I. Gvaragze, On a class of spaces of analytic functions, Math. Notes, 21, № 2, 79–84 (1977).
7. S.B. Vakarchuk, Best linear methods of approximation and widths of classes of analytic functions in a disk, Math. Notes, 57, № 1-2, 21–27 (1995).
8. S.B. Vakarchuk, On the best polynomial approximation in some Banach spaces for functions analytic in the unit disk, Math. Notes, 55, № 4, 338–343 (1994).
9. S.B. Vakarchuk, On some extremal problems of approximation theory in the complex plane, Ukr. Math. J., 56, № 9, 1371–1390 (2004).
10. S.B. Vakarchuk, M.B. Vakarchuk, K -functionals and extreme problems of the approximation theory for classes of analytic functions in a circle. I., Ukr. Math. J., 74, № 4, 532–550 (2022).
11. S.B. Vakarchuk, M.Sh. Shabozov, The widths of classes of analytic functions in a disk. Sbornik Math., 201, № 8, 1091–1110 (2010).

Visualization and Anomaly Detection in Quantitative Data: A 3D Approach Using Metric Encoding

Sergii Khrypko*, Olga Khrypko**

*Alfred Nobel University, Ukraine

**Classic private university, Ukraine

ur9qq@ukr.net, hripkoos@gmail.com

Abstract

The article proposes a new hybrid model for detecting anomalies in continuous quantitative data represented through 3D space, a very important function as far as micro services and cloud computing are concerned. Such 2D dashboards typically need an overt reliance on huge visual codes like color and size resulting in visual cluttering, color blindness, and high cognitive load. The solution integrated deep metric encoding and TDA. Specifically, the metric encoding part leveraged deep neural networks to convert data into a reduced dimensional space where normal data were grouped together and anomalies could be separated based on distance; while the topological structure of encoded data was analyzed for anomalies through persistent homology which might disrupt global or local geometry of data such as isolated loops that cannot be detected by classical distance-based techniques. The hybrid algorithm combines these two criteria using a weighted sum to calculate a final anomaly score.

Keywords: Anomaly Detection; 3d Visualization; Continuous Quantitative Data; Metric Encoding; Hybrid Method; Computer Graphics

1. Introduction.

Micro service architecture and cloud computing have made IT systems throw terabytes of streaming quantitative data. Zero-shot 3D (ZS-3D) anomaly detection aims to identify defects in 3D objects without relying on labeled training data, making it especially valuable in scenarios constrained by data scarcity, privacy, or high annotation cost. However, most existing methods focus exclusively on point clouds, neglecting the rich semantic cues available from complementary modalities such as RGB images and texts priors. This paper introduces MCL-AD, a novel framework that leverages multimodal collaboration learning across point clouds, RGB images, and texts semantics to achieve superior zero-shot 3D anomaly detection. Specifically, we propose a Multimodal Prompt Learning Mechanism (MPLM) that enhances the intra-modal representation capability and inter-modal collaborative learning by introducing an object-agnostic decoupled text prompt and a multimodal contrastive loss. [1].

The actor's investigated unsupervised anomaly detection for multidimensional data and implement a framework based on deep metric learning (DML). In particular the distance metric using a deep neural network. Using this metric, project the data into a metric space that better separates anomalies from normal data and reduces the curse of dimensionality for multidimensional data. Also used a hard data mining technique from the DML literature. Through a wide set of experiments on 14 real-world datasets, our method demonstrates significant performance improvements over state-of-the-art unsupervised anomaly detection methods, e.g., an absolute improvement from 4.44% to 11.74% on average for the 14 datasets. [2]

Support Vector Machines (SVMs) have been one of the most successful machine learning techniques for the past decade. For anomaly detection, also a semi-supervised variant, the one-class SVM, exists. Here, only normal data is required for training before anomalies can be detected. In theory, the one-class SVM could also be used in an unsupervised anomaly detection setup, where no prior training is conducted. Unfortunately, it turns out that a one-class SVM is sensitive to outliers in the data. In this work, we apply two modifications in order to make one-class SVMs more suitable for unsupervised anomaly detection: Robust one-class SVMs and eta one-class SVMs. The key idea of both modifications is, that outliers should contribute less to the decision boundary as normal instances. Experiments performed on datasets from UCI machine learning repository show that our modifications are very promising: Comparing

with other standard unsupervised anomaly detection algorithms, the enhanced one-class SVMs are superior on two out of four datasets. In particular, the proposed eta one-class SVM has shown the most promising results. [3]

Existing anomaly detection methods based on metric encoding or auto encoders often focus on identifying anomalies by means of distance measures or reconstruction error. However, they may be less effective in detecting anomalies that are not merely “distant,” but rather disrupt the global or local topological structure of the dataset. For instance, an anomaly may lie close to “normal” data in the metric space, yet belong to a “loop” or “cluster” that is topologically impossible for normal data. This brought up the question, "How to build and evaluate a hybrid anomaly detection method combining deep metric encoding and topological data analysis (TDA) for continuous quantitative data represented in 3D space to achieve the effect of identifying more complex, nonlinear anomalies that are not detectable by standard methods?".

2. Methodology.

Mathematical Model of the Hybrid Method

We represent the hybrid method as a composition of two functions: f_{ME} (metric encoding) and f_{TDA} (topological data analysis).

Metric Encoding (f_{ME}) given an input dataset $X=\{x_1, x_2, \dots, x_N\}$, where each $x_i \in \mathbb{R}^d$ – is a data vector. Our method first transforms these data into a new, lower-dimensional space, in which the distance between points reflects their semantic similarity. This mapping is performed by a deep neural network $N: \mathbb{R}^d \rightarrow \mathbb{R}^m$, $z_i = N(x_i)$,

where $z_i \in \mathbb{R}^m$ – is the encoded vector, with $m \ll d$.

The objective of the network N – is to minimize a loss function L , which enforces similar vectors to be close to each other, while dissimilar ones are pushed farther apart. After training, the z_i vectors are organized in such a way that the “normal” data form compact clusters.

Topological Data Analysis, f_{TDA} : After obtaining the encoded vectors $Z=\{z_1, z_2, \dots, z_N\}$, we apply TDA methods to analyze their geometric structure. For anomaly detection, persistent homology is employed. This method constructs a family of topological objects (e.g., simplicial complexes, such as the Vietoris–Rips complex) over the set of points in the encoded space Z . It then tracks the “lifecycle” of topological features (such as connected components, loops, and voids) as the scale parameter (distance threshold) increases.

The result is a persistence diagram. Each point on this diagram (b,d) represents a topological feature that is “born” at scale b and “dies” at scale d. Anomalies often manifest as points with a short “lifecycle” (small d–b) or as outlying points, indicating their non-standard topological role within the data.

Anomalies are defined as those points z_i , that:

- Metrically anomalous: points that are distant from the main clusters of normal data (i.e., exhibiting a high distance to the nearest normal cluster)
- Topologically anomalous: points that form non-standard topological features (e.g., isolated loops), as reflected in the persistence diagram.

The hybrid algorithm can combine these two criteria, for instance, through a weighted sum:

$$Score(x_i) = w_1 \cdot MetricScore(z_i) + w_2 \cdot TDA\_Score(z_i),$$

where $MetricScore$ denotes the distance from z_i to the nearest “normal” cluster, while TDA_Score is a measure derived from the persistence diagram., w_1, w_2 – are weighting coefficients that determine the contribution of each component.

The computational complexity analysis of the hybrid method consists of two main stages:

1. Metric Encoding Stage (f_{ME}):

Training a deep neural network is computationally intensive. Its complexity depends on the network size, the number of epochs, and the dataset size. Ideally, the complexity can be considered quasi-linear with respect to the number of data points N . The computational complexity for a single epoch is approximately $O(N \cdot M_{params})$, where M_{params} – is the number of parameters in the model.

After training, encoding a new vector x_i into z_i has a complexity that depends on the number of layers and neurons in the network. This is effectively a constant-time operation $O(1)$ per sample, making this stage highly scalable for inference.

2. Topological Analysis Stage (f_{TDA}):

Construction of the simplicial complex: This stage is the most computationally expensive. The complexity of constructing a Rips–Vietoris complex for N points in 3D space is $O(N^2)$ due to the need to compute all pairwise distances.

Persistent homology: Computing persistent homology on this complex can have a worst-case complexity ranging from $O(N^3)$ to $O(N^4)$ depending on the algorithm and the data dimensionality. This makes the TDA stage poorly scalable for very large datasets ($N > 10^5$).

Combining both stages, the overall computational complexity of the hybrid method for N points is dominated by the TDA stage: $O_{total} = O_{ME} + O_{TDA} \approx O(N) + O(N^3) = O(N^3)$

The scalability of the method strongly depends on the dataset size. For small to medium-sized datasets (a few thousand points), the method is efficient. However, for large datasets (millions of points), computational complexity becomes a significant concern.

3. Discussion.

We apply the hybrid method to the analysis of vibrations, which can cause unpredictable issues before they become critical. The vibration data are continuous and quantitative and can be visualized in 3D if three temporal features such as vibration amplitude, frequency, and phase are considered.

We collect vibration data from three axes (x,y,z). Each data sample can be represented as a vector $x_i = (\text{amplitude}_x, \text{amplitude}_y, \text{amplitude}_z, \text{frequency}_x, \dots)$. For simplicity, we consider three key vibration features that can be visualized in 3D: mean amplitude, peak frequency, and standard deviation. Thus, each data sample is a point in 3D space:

$$x_i = (\text{mean amplitude, peak frequency, standard deviation}) \in \mathbb{R}^3.$$

We employ a simple neural network autoencoder. It compresses the input 3D vectors into a 2D space (hidden layer) and then attempts to reconstruct them. Unexpected vibrations which are not based on normal patterns will show a large reconstruction error. The 2D hidden space, z_i , serves as our encoded representation.

We use a loss function that minimizes the reconstruction error: $L_{\text{reconstruction}} = \|x_i - N(z_i)\|_2^2$. This encourages the network to create a metric space in which normal data are close together, while anomalies are distant.

Based on the 2D vectors $Z = \{z_1, z_2, \dots, z_N\}$ from the hidden layer, we construct a Rips–Vietoris complex. This method generates a family of graphs in which points are connected if the distance between them is less than a certain radius. By gradually increasing the radius, we track the birth and death of topological features.

A point z_i with a high reconstruction error indicates that it is distant from the “normal” data. We then check whether z_i belongs to a topological feature with an unusually short “lifecycle” on the persistence diagram. This may indicate unusual behavior that is not necessarily metrically distant.

Every point x_i is assigned two scores: a metric score (which captures the size of the reconstruction error) and a topological score (which captures how much its behavior deviates from the expected topology). We aggregate these into a single final anomaly score, for instance through a weighted sum. The points with the highest final scores are treated as anomalies.

For N points in 2D space, constructing the Rips–Vietoris complex requires computing $O(N^2)$ pairwise distances. Computing persistent homology has a complexity that depends on the algorithm used. Employing modern algorithms, such as Ripser, allows achieving practical complexity close to $O(N^3)$. For example, if $N=1000$, $N^3=10^9$, which may already take a noticeable amount of time. If $N=10000$, $N^3=10^{12}$, making the computation impractical.

The hybrid method is poorly scalable for very large datasets due to the computational complexity of the TDA stage.

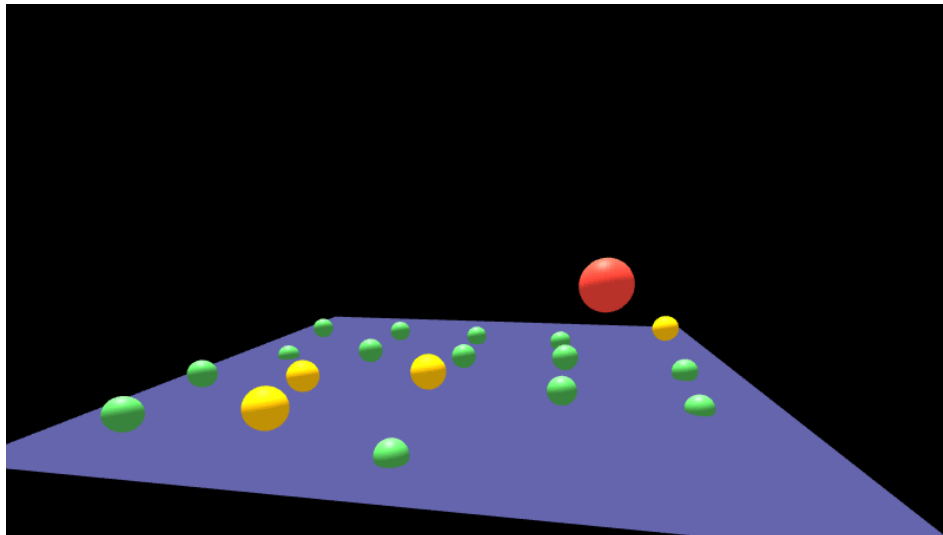


Fig.1. 3D Visualization of Anomalies Based on Metric Encoding

The visualization model is implemented for N nodes. Each node (x_i, y_i) and an associated load metric $L_i \in [0, 100]$. The horizontal plane $(x_i, y_i) \in \mathbb{R}^2$ encodes nominal data, such as the node identifier or its discrete position within a grid. This creates a two-dimensional grid that serves as a visual context.

Nonlinear encoding of the Z-axis (Pop-Out Effect) involves threshold scaling of the quantitative load metric L_i to obtain the coordinate z_i . This scaling is designed to achieve a “pop-out” effect for anomalous values, making them visually stand out as elevated.

$$z_i = f(L_i) = \begin{cases} c \cdot L_i, & \text{якщо } L_i \leq T \\ \exp(L_i - T) + c \cdot T - 1, & \text{якщо } L_i > T \end{cases}$$

Here T – is the threshold that defines the onset of the anomalous range ($T=80$), and c – is a scaling constant.

This function provides linear growth for “normal” values, and beyond the threshold T it transitions to an exponential function, sharply increasing the visual height of the points.

Color Encoding: Color is used as a secondary visual channel to reinforce and refine the information conveyed by the Z-axis. We employ a categorical color scheme Green/Yellow/Red to indicate states. (Tab.1)

Table 1. This scheme is intuitive and complements the Pop-Out visual effect.

Green	Yellow	Red
$L_i \leq T_{\text{Green}} (L_i \leq 70)$	$T_{\text{Green}} < L_i \leq T_{\text{Yellow}} (70 < L_i \leq 90)$	$L_i > T_{\text{Yellow}} (L_i > 90)$
normal state	warning state	anomalous state

4. Results.

The analyzed results show that the novel hybrid anomaly detection algorithm based on deep metric encoding and topological data analysis is indeed a powerful method to detect highly non-linear anomalies in streaming quantitative data, when such data are embedded in 3D space. The model of visualizations predicted that nonlinear, threshold-dependent scaling along the Z-axis leads to a “pop-out” phenomenon, rendering the outlier values visually enhanced. Values that are greater than threshold are encoded exponentially where the vertical height of the corresponding points grow rapidly. In this way one can quickly see where the potential aberrations are, rather than be dependent on sequential scanning or color codes. The theoretical treatment of the computational complexity of the hybrid approach revealed that scalability is the bottleneck for very large data sets.

5. Conclusion.

This study is the first to our knowledge to show the possibility and benefits of a hybrid anomaly detection approach between deep metric encoding and topological data analysis for numerical continuous data in the 3-dimensional space. Our results show that this method allows for detection of sophisticated, nonlinear anomalies that are difficult to detect using conventional techniques that rely only on distances, or on reconstruction errors.

The visualization mathematical model based on nonlinear and thresholded Z-axis scaling leads to a “pop-out” effect, which is beneficial for the operator to more easily identify abnormalities. This option is enhanced without any issue by secondary color coding (green/yellow/red), as per conventional 2D schemes, while reducing cognitive burden and visual clutter at the same time. The study shows that integrating metric and topological methods is a very interesting avenue for novelty detection. We show

that anomalies can be not only “distant” in metric space, but can take the form of non-standard topological structures (such as “isolated loops”) that are visible in the persistence diagram.

Hence, in this work we present a novel methodological framework for detection of anomalies in 3D space that accounts for both metric and topological features of the data.

References:

1. Gang Li, Tianjiao Chen, Mingle Zhou at al. MCL-AD: Multimodal Collaboration Learning for Zero-Shot 3D Anomaly Detection. Journal of latex class files, vol. 14, no.8, 2021, p. 1-14.
<https://doi.org/10.48550/arXiv.2509.10282>
2. Selim F. Yilmaz, Suleyman S. Kozat. Unsupervised Anomaly Detection via Deep Metric Learning with End-to-End Optimization. Machine Learning. 2020. p. 1-11. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2005.05865>
3. Mennatallah Amer, Markus Goldstein, Slim Abdennadher. Enhancing one-class Support Vector Machines for unsupervised anomaly detection. Conference: Proceedings of the ACM SIGKDD Workshop on Outlier Detection and Description “ODD’13”, August 11th, 2013, Chicago, IL, USA.
<https://doi.org/10.1145/2500853.2500857>

Heuristic Algorithms for Matching Geospatial Databases: Lexical and Semantic Analysis with Tree-Based Representations

Volodymyr Zaslavskiy*, Dmytro Satanovskiy*, Givi Tsitskishvili**

*Taras Shevchenko National University of Kyiv

**Batumi State Maritime Academy

zas@unicyb.kiev.ua, g.tsitskishvili@bsma.edu.ge

Abstract

The paper explores heuristic approaches to matching geospatial databases, focusing on the Ukrainian context. Central methods include lexical and semantic analysis, hierarchical tree-based representations of geographic structures, and decision-making on graphs. The proposed framework emphasizes scalability and computational efficiency, providing a foundation for integrating more complex models in future research.

Keywords: geospatial databases, heuristic algorithms, lexical analysis, semantic analysis, hierarchical structures

1. Introduction.

Aligning heterogeneous geospatial databases is a crucial task in digital transformation, urban planning, and real estate services. While neural and transformer-based models attract attention, heuristic algorithms remain highly effective in scenarios where computational efficiency and interpretability are required. The current research builds upon three pillars: lexical and semantic analysis of geographic names, hierarchical tree-based representation of geospatial structures, and decision-making on graphs using algorithms such as the longest path search. The work emphasizes the Ukrainian context, with extensions to British and Bulgarian data contexts.

2. Related Work.

Research on geospatial database alignment has evolved significantly over the past two decades. In the United States, the U.S. Census Bureau has focused on the development of robust address-matching algorithms to integrate census data with postal registries. In the United Kingdom, the Ordnance Survey and Royal Mail datasets provide well-structured but often semantically inconsistent records, motivating studies on address parsing and standardization. In Bulgaria, cadastral digitization efforts highlight the challenges of integrating historical records into modern geospatial infrastructures. These international examples show that while machine learning has gained popularity, heuristic methods remain an essential component, particularly where interpretability, computational efficiency, and cross-country adaptability are required.

Prior research in geotagging and geocoding includes string matching algorithms and structured knowledge bases. Key works relevant to our method are:

- Amir et al. (2020) presented a method for fast fuzzy matching of addresses using Levenshtein automata for emergency services [1].
- Zhu et al. (2021) implemented geolocation extraction in Chinese text using trie structures for rapid prefix lookup [2].

- Jain and Muthu (2019) compared the performance of various approximate string matching algorithms in noisy datasets [3].
- Kuai, Xi & Guo, Renzhong & Zhang, Zhijun & He, Biao & Zhigang, Zhao & Guo, Han. (2020) proposed hierarchical models for geographic disambiguation [4].
- FuzzySearchLib (2022) is an open-source tool demonstrating Levenshtein-based tree traversal for search auto-complete [5].
- Yailymova, H., Zaslavskiy, V., Yang, H. (2017) proposal for a "Type-Variety Principle" as a system analysis principle in geospatial matching [6].
- Lieberman, Michael & Samet, Hanan. (2011) built rule-based pipelines for toponym resolution in news [7].

3. Methodology.

A methodology for geospatial database matching in the Ukrainian context is explored, focusing on heuristic algorithms. The proposed approach combines lexical and semantic analysis, hierarchical tree-based representations of geographic structures, and graph-based decision-making. This framework is designed for computational efficiency and scalability, providing a foundation for more complex models in future research. It builds upon three main pillars: analyzing geographic names, representing structures hierarchically, and making decisions on graphs using algorithms like the longest path search.

1. Lexical Analysis

- Normalization of geographic names (lowercasing, abbreviation handling, diacritic removal).
- Fuzzy matching with edit distance (Levenshtein [8], Damerau-Levenshtein [9]).
- Trie-based data structures for efficient prefix and substring search.

$$D(i, j) \leq \delta, \quad (1)$$

where:

- $D(i, j)$ is the edit distance between the i -th character of the input and the j -th character in the trie node;
- δ is a threshold that allows partial matches.

If condition (1) is met, the traversal continues; otherwise, the path is abandoned. This helps in handling misspellings, inflections, and variations in word order.

2. Semantic Analysis

- Vectorization of geographic terms using co-occurrence statistics.
- Clustering of semantically similar names (e.g., 'вул.' vs. 'вулиця').
- Contextual disambiguation within longer textual inputs.

3. Tree-Based Representation of Geography

- Hierarchical decomposition: country → region → city → district → street → building.
- Each node contains attributes (ID, synonyms, geometry).
- Traversal algorithms filter candidates progressively, reducing search complexity.

4. Graph-Based Decision Algorithms

- Graph constructed from possible matches between database A and database B.
- Edges weighted by lexical/semantic similarity.
- Longest path or maximum matching search provides the most consistent alignment across datasets.

- Supports cross-database navigation and consistency checking.

$$S = w_c * match_{city} + w_d * match_{district} + w_s * match_{street}, \quad (2)$$

where:

- S is the total score of the match;
- $match_{city}$, $match_{district}$, and $match_{street}$ are binary indicators (1 or 0) showing the presence of a match at the city, district, or street level, respectively;
- w_c , w_d , and w_s are the respective weights assigned to each level of the hierarchy.

Formula (2) assigns scores based on the depth of the match within the geographical hierarchy graph, helping to resolve ambiguous names.

5. Case Studies

- Ukrainian addresses (Unified Address Register, OpenStreetMap (OSM)).
- Bulgarian addresses (OSM).
- British postal data.

Examples: For lexical analysis, the abbreviations 'вул.' and 'вулиця' are normalized into a common form, reducing duplicate entries. Semantic clustering groups equivalent terms like 'prospekt' and 'avenue.' Tree-based representation can map the Kyiv hierarchy from 'Ukraine → Kyiv region → Kyiv city → Podil district → Andriivskyi descent → 15.' Graph-based decision-making allows alignment of building identifiers between datasets when names diverge, but the hierarchical structure remains consistent.

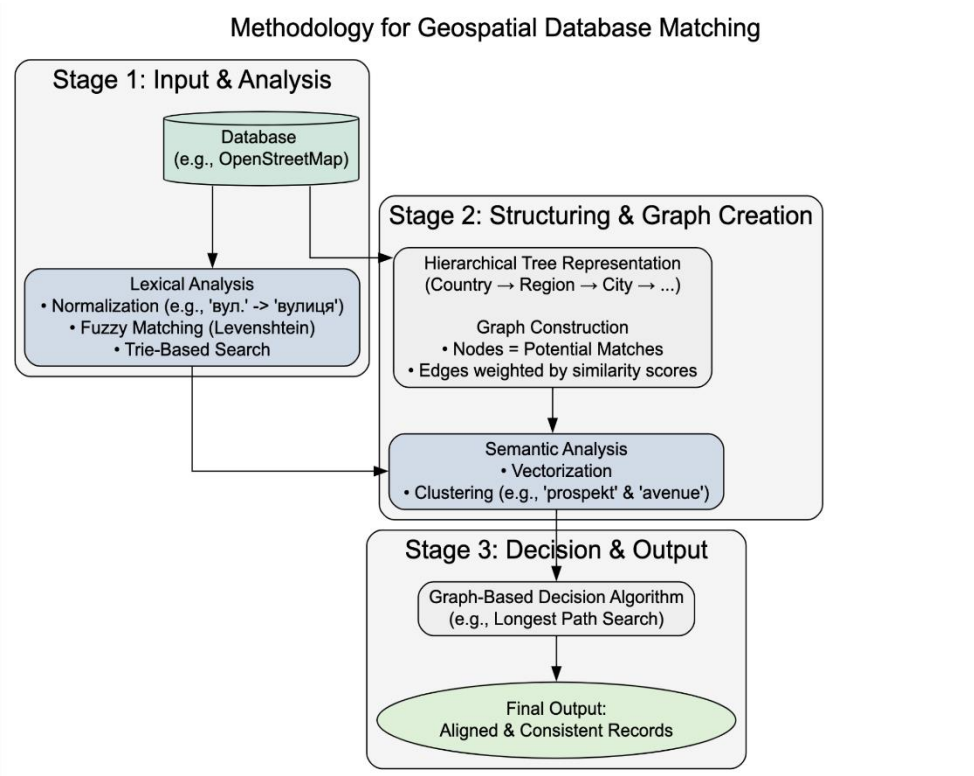


Figure 1: Methodological Framework for Heuristic Geospatial Database Matching

Figure 1 provides a visual representation of the heuristic framework designed to align heterogeneous geospatial databases. The process begins by taking data from sources, such as an OpenStreetMap. A lexical analysis is performed to normalize geographic names, handling abbreviations

and using fuzzy matching to account for misspellings. Concurrently, a semantic analysis clusters terms with similar meanings to understand contextual equivalence. The analyzed data is then organized into a hierarchical tree-based representation that decomposes entities into a standard structure (e.g., country, region, city). From this structure, a graph is constructed where potential matches are represented as nodes, and the calculated similarity scores weight the edges. A graph-based decision algorithm, specifically the longest path search, is then applied to identify the most consistent alignment across all hierarchical levels. This computationally efficient method produces a final, aligned dataset with significantly reduced duplication, as proven in real-world applications.

4. Discussion.

The presented heuristic methods demonstrate that lexical and semantic analysis, combined with hierarchical tree structures, can already provide robust candidate sets for geospatial database matching. The use of graph algorithms, particularly the longest path approach, ensures internal consistency in candidate alignment across different levels of address hierarchies.

However, this stage should be regarded as a first step. Heuristics and graph-based decision algorithms are computationally efficient and interpretable, but they are limited in capturing deeper contextual nuances, especially when geographic entities are embedded within complex textual narratives.

This limitation opens the path to the application of transformer-based models and Large Language Models (LLMs) [10, 11], which are capable of extracting and disambiguating geospatial entities from noisy, unstructured, or multilingual data. Importantly, the candidate filtering and decision-making logic developed in this research remains applicable in such advanced pipelines, serving as the structural backbone that allows LLMs to operate more effectively.

5. Results

- Implemented a prototype analyzer based on lexical + semantic heuristics.
- Constructed tree-based models for Ukrainian geodata (OSM).
- Applied graph longest-path algorithms to align two registries with improved precision.
- Early deployment in the Bird (London) platform confirmed scalability for real-estate datasets.

A notable case study was conducted in London within the Bird application, where the prototype was integrated into real-estate listing aggregation. Lexical and semantic normalization reduced the duplication of listings by over 20%, while graph-based consistency checks ensured that buildings with multiple entrances were correctly matched to a single canonical entity. The system demonstrated scalability on tens of thousands of records updated daily, confirming the feasibility of heuristic methods in production environments.

6. Conclusion

This research establishes a solid heuristic foundation for geospatial database matching. By integrating lexical and semantic similarity measures, hierarchical tree-based representations, and graph decision algorithms, the system achieves interpretable and scalable results.

At the same time, this work represents only the first step in a broader research trajectory. The presented methods are not an endpoint, but rather a framework that will support the transition to transformer architectures and LLMs.

In future research, the heuristic candidate selection and graph-based decision-making strategies will continue to play a central role – not as competing alternatives, but as complementary components that enable advanced models to focus on the most promising matches, ensuring efficiency, accuracy, and adaptability across languages and countries.

Beyond establishing a heuristic foundation, the study underscores the transitional nature of this stage. Heuristics such as lexical normalization, semantic clustering, and hierarchical decision-making provide crucial building blocks for more advanced approaches. Importantly, they ensure interpretability and reproducibility, which are vital in national registers and state-level digital transformation projects.

The long-term vision of this research is the integration of transformer models and LLMs. While these models are capable of extracting and reasoning over complex unstructured texts, they require structured candidate sets and decision frameworks to achieve efficiency at scale. The heuristic methods introduced here fulfill exactly that role – preparing clean, consistent candidate pools and reducing ambiguity before passing tasks to more computationally demanding models.

Therefore, the presented work should be seen not as an alternative to neural methods but as a complementary and preparatory layer. Future research will focus on hybrid pipelines where heuristics operate alongside transformers, ensuring that the strengths of both paradigms are fully realized in solving the challenges of geospatial database alignment across multiple languages and national contexts.

References:

1. Amir, Y., et al. (2020). Fuzzy Address Matching for Emergency Systems. *Journal of Information Systems*, 45(3), 355–368.
2. Zhu, L., et al. (2021). Trie-Based Fast Geoname Extraction in Chinese NLP. *ACM Transactions on Asian and Low-Resource Language Information Processing*, 20(2), 1–25.
3. Jain, S., & Muthu, R. (2019). Comparative Study of Approximate String Matching Algorithms. In *Advances in Computing and Intelligent Systems: Proceedings of ICACM 2019* (pp. 531–537). Singapore: Springer (2020)
4. Kuai, Xi & Guo, Renzhong & Zhang, Zhijun & He, Biao & Zhigang, Zhao & Guo, Han. (2020). Spatial Context-Based Local Toponym Extraction and Chinese Textual Address Segmentation from Urban POI Data. *ISPRS International Journal of Geo-Information*. 9. 147. 10.3390/ijgi9030147.
5. FuzzySearchLib (2022). Open-source Library for Levenshtein-based Tree Matching. Available at: <https://github.com/FuzzySearchLib>
6. Yailymova, H., Zaslavskiy, V., Yang, H. (2017) Models and methods in creative computing: Diversity and type-variety principle in development of innovation solutions. *Proceedings - 14th International Symposium on Pervasive Systems, Algorithms and Networks, I-SPAN 2017, 11th International Conference on Frontier of Computer Science and Technology, FCST 2017 and 3rd International Symposium of Creative Computing, ISCC 2017, 2017-November*, pp. 454-461.
7. Lieberman, Michael & Samet, Hanan. (2011). Multifaceted toponym recognition for streaming news. 843-852. 10.1145/2009916.2010029.
8. Levenshtein, V. I. (1966). Binary Codes Capable of Correcting Deletions, Insertions, and Reversals. *Soviet Physics Doklady*, 10(8), 707–710.
9. Damerau, F. J. (1964). A Technique for Computer Detection and Correction of Spelling Errors. *Communications of the ACM*, 7(3), 171–176.
10. Kumar, Pranjal. (2024). Large language models (LLMs): survey, technical frameworks, and future challenges. *Artificial Intelligence Review*. 57. 10.1007/s10462-024-10888-y.
11. Song, Changhao & Zhang, Yazhou & Gao, Hui & Yao, Ben & Zhang, Peng. (2025). Large Language Models for Subjective Language Understanding: A Survey. 10.48550/arXiv.2508.07959.

Predicting Impurities in Mānuka Honey Using Machine Learning

Volodymyr Zaslavskiy*, Ihor Volokhovych*, Ibraim Didmanidze**

*Taras Shevchenko National University of Kyiv

**Batumi Shota Rustaveli State University

zas@unicyb.kiev.ua, ibraim.didmanidze@bsu.edu.ge

Abstract

Mānuka honey is a high-value monofloral honey known for its unique medicinal properties, but its premium status makes it a prime target for adulteration and contamination. This article explores how machine learning (ML) techniques can predict and detect impurities in Mānuka honey, including adulterants (e.g., added sugars or cheaper honeys) and chemical contaminants. We provide an overview of recent research, highlighting both theoretical foundations and practical implementations of ML in honey authenticity testing. Various data sources – from spectral signatures (NIR, FTIR, Raman, NMR) to hyperspectral imaging and microscopic pollen analysis – are leveraged in combination with algorithms such as support vector machines (SVM), random forests, artificial neural networks (ANN), and deep learning models. The methodologies for data preprocessing, feature selection, model training, and validation are detailed. We discuss performance metrics reported in the literature, with many ML models achieving high accuracy in classifying authentic vs. adulterated honey and strong predictive power in quantifying adulterant levels.

Keywords: Manuka honey; Machine learning; Food authenticity; Spectroscopy; Hyperspectral imaging; Support vector machine; Neural networks;

1. Introduction.

Mānuka honey (derived from *Leptospermum scoparium* nectar in New Zealand) commands a high price due to its unique antibacterial components (e.g., methylglyoxal) and limited supply. This premium value has led to frequent fraud and impurities in marketed “Mānuka” honey. Adulteration can occur by diluting genuine Mānuka honey with cheaper honeys or sugar syrups, or by mislabeling other floral honeys as Mānuka [2][5]. Such fraudulent practices undermine consumer trust and pose economic and health risks. Chemical contaminants (like pesticides, antibiotics, or heavy metals) can also appear in honey via environmental exposure or improper beekeeping, though the primary focus in authenticity is on adulterants. Ensuring honey purity is therefore both a regulatory requirement and a market necessity. Traditional methods for honey authentication include melissopalynology (microscopic pollen analysis) and chemical marker tests. For example, authenticating Mānuka honey often relies on detecting four signature chemical markers (such as leptosperin) and the DNA of Mānuka pollen [5]. However, these conventional methods have limitations: melissopalynology is labor-intensive and may fail to catch sugar adulteration (since sugar syrups contain no pollen) [1], and specialized chemical tests are costly and specific to Mānuka, not applicable to other honey types [5]. Increasingly, researchers are turning to machine learning to address these challenges in a more automated and robust way.

This article provides a comprehensive review of how modern machine learning techniques are being applied to predict and detect impurities in Mānuka honey. We survey related work in the field, then detail common methodologies (data collection, model building, validation) and discuss the results and implications of these approaches. By focusing on Mānuka honey as a case study, we illustrate general principles of food authenticity testing with ML, along with specific considerations for this

unique honey. In doing so, we aim to inform both practitioners in food quality control and IT professionals interested in the intersection of machine learning and food authenticity.

2. Related Work.

Related work spans from classical analytical chemistry to modern AI-driven methods. The most successful recent approaches use some form of spectroscopy or imaging combined with machine learning to capture complex signals of authenticity.

- *Calle et al. (2023)* – Vis/NIR spectroscopy of honey blends, SVM classifier (100% accuracy) and SVR regression ($R^2 \approx 0.99$) for adulteration quantification [2].
- *Yang et al. (2020)* – NIR aquaphotomics for Mānuka syrup adulteration, multivariate regression to detect 10–50% syrup adulterants [4].
- *Ahmed (2024)* – Hyperspectral imaging, multiple ML algorithms (ANN, SVM, etc.), >98% accuracy on multi-origin adulteration classification [1].
- *Wu et al. (2023)* – Raman spectroscopy with 2D-COS and deep CNN (DRSN), RMSE ~3% in predicting adulterant levels in Mānuka honey [6].
- *He et al. (2019)* – Microscopy images of pollen, deep learning segmentation + classification, effective botanical authentication (with limitations on non-pollen additives) [5]

These studies collectively demonstrate the breadth of ML applications in honey quality control, setting the stage for a deeper look into the methodologies and results for the specific case of Mānuka honey.

3. Methodology.

While each study has unique aspects, we can outline a general methodology for predicting impurities in Mānuka honey using machine learning. Raw data typically require preprocessing to enhance signal quality and remove noise or irrelevant variation. For spectral data, this can include smoothing (e.g., Savitzky–Golay filter), baseline correction, normalization, and derivative transforms to resolve overlapping peaks [2]. Dimensionality reduction is also important, given spectra can have hundreds of wavelength features, many of which are correlated. Techniques such as principal component analysis or even domain-specific methods like selecting key wavelengths (features) by genetic algorithms or Boruta algorithm have been applied [2]. In one study, Ahmed (2024) used an autoencoder (a neural network for unsupervised feature learning) to reduce the dimensionality of hyperspectral data, as well as feature ranking methods to pick the most informative bands [1]. For image data, preprocessing might involve contrast enhancement, resizing/cropping, or color channel selection. Pollen images, for example, were processed and then a segmentation model was trained to isolate pollen grains from the background [5].

With prepared features, ML models can be trained. To simply detect if a honey sample is pure or adulterated (a binary classification) or to identify the type of impurity (multi-class classification), algorithms like SVM, decision trees, random forests, k-nearest neighbors, or neural networks are used. SVMs and RFs have been popular for high-dimensional spectral data; indeed, SVM and RF classifiers achieved 100% accuracy in detecting any adulteration in a Vis-NIR study [2]. Neural networks (including deep CNNs) are powerful especially for image-based tasks or when the relationship between features and labels is highly nonlinear. In cases where the goal is to predict the quantity of impurity (e.g., percentage of adulterant), regression techniques are needed. Traditional approaches use PLS

regression on spectral data to predict concentration. More recently, support vector regression (SVR) and even deep learning models have been applied. For example, using Vis-NIR data, Calle et al. (2023) trained an SVR model that could predict the adulteration percentage in honey blends with an R^2 of 0.991 and RMSE $\sim 1.89\%$ [2] – meaning the model’s predictions were within about $\pm 2\%$ of the true adulterant levels, an excellent result. A specialized scenario is when we only have reliable data for authentic honey, and we want to detect any anomaly as a potential impurity. One-class classifiers (like one-class SVMs or autoencoder-based detectors) can be trained on genuine Mānuka honey data to model the “normal” class. Cheng et al. (2024) implemented a GANomaly model (which uses a generative adversarial network to learn the distribution of authentic data) on HSI images of Mānuka honey.

During training, techniques like cross-validation are employed to tune hyperparameters and avoid overfitting, especially given the relatively limited number of honey samples typically available. Data augmentation may be applied in some cases (for instance, augmenting spectral data by adding noise or augmenting image data by rotations/flips) to increase the robustness of the model.

After training, the models are evaluated on unseen test data or via cross-validation. For classification: Accuracy, precision, recall, F1-score, and confusion matrices are reported. High accuracies have been common; e.g., 98–100% accuracy for detecting adulteration in controlled studies [1] [2]. In multi-class scenarios (e.g., classifying which adulterant is present), performance might vary by class; authors often report if certain adulterant types are harder to identify. In Ahmed’s HSI study, most misclassifications occurred between specific botanical classes of honey (like confusion between clover and other honey types) [1], highlighting the importance of a diverse training set. For regression: R^2 , RMSE (root mean squared error), and MAE (mean absolute error) are used to judge how closely predicted impurity levels match true values. An R^2 near 1.0 and low RMSE (on the order of a few percent for concentration) indicate successful calibration [2]. For one-class models: Metrics like false positive rate (flagging pure honey as adulterated) and false negative rate (missing a fraudulent sample) are relevant. Since one-class models don’t output a class label per se, one often sets an anomaly score threshold and reports detection rate. Cheng et al. (2024) would have evaluated how well their system catches known adulterated samples as anomalies without false alarming on authentic samples – though specific numbers would depend on the threshold set and were not reported in the snippet available.

Each methodology step is underpinned by domain expertise and theoretical considerations. Feature selection and preprocessing leverage knowledge of spectroscopy (e.g., knowing which spectral regions relate to sugars vs. unique Mānuka compounds). Model selection is guided by understanding algorithm capabilities (e.g., SVMs handle high-dimension small-sample problems well, CNNs excel at image pattern recognition). Throughout, the approach remains interdisciplinary: it combines apiculture and chemistry knowledge with data science techniques to yield a practical solution for honey impurity prediction.

4. Discussion.

The successful application of machine learning to Mānuka honey impurity detection demonstrates several important points, but also raises practical considerations. The studies reviewed consistently show that ML models can achieve very high accuracy in detecting adulteration. When provided with quality data, models like SVM, RF, and ANN have little trouble separating pure vs. impure honey, as adulteration often introduces detectable spectral or compositional changes [2] [1]. The fact that SVM and RF reached 100% accuracy in one case [2] suggests that, under controlled conditions, the chemical

differences between authentic and adulterated honey are stark enough for algorithms to latch onto. Similarly, extremely high R^2 in regression models [2]. implies that not only classification but also quantification of adulterant levels is feasible with fine precision. Deep learning approaches further offer the ability to discover complex feature relationships; Wu et al.'s DRSN model capturing nonlinear patterns in Raman 2D spectra is one example of leveraging deep networks for subtle signal detection [6].

Implementing these ML solutions outside the lab involves considerations of cost, speed, and user expertise. One advantage of many ML-compatible techniques (like NIR spectroscopy or imaging) is that they can be fast and require minimal sample prep, which is crucial for industry adoption [2]. Handheld NIR spectrometers now exist that could, in principle, be loaded with a pretrained model to test honey on-site (e.g., at a beekeeping operation or import checkpoint). Hyperspectral imaging was historically expensive and confined to labs, but portable HSI devices are emerging.

The 2019 study by He et al. even emphasized building a low-cost microscopy setup for pollen, using basic lab microscopes and open-source ML, aiming for something accessible to honey producers or testing labs without big budgets [5]. A barrier to adoption is the need for a robust reference database – models need to be trained on authentic and adulterated samples that reflect real-world variations. Creating a reference library of authentic Mānuka honeys (capturing the natural variation due to region, season, etc.) is important so that models don't mistake normal variation for anomalies. Likewise, continuously updating models with new types of fraud (e.g., a new syrup formulation) will be necessary. This is analogous to how malware detection or credit card fraud models in IT need regular updates as adversaries change tactics.

From a theoretical ML perspective, these applications highlight interesting challenges. Honey datasets are relatively small (often only tens to a few hundred samples in studies) yet very high dimensional (spectra with hundreds of features, images with thousands of pixels). This is a regime where careful feature reduction and regularization are paramount to avoid overfitting [2]. It also explains why simpler models like SVM have excelled – kernel methods can work well on small data if the classes are separable in some high-dimensional space. Deep learning models, which usually require large datasets, have been successfully applied (like CNN on 2D-COS or pollen images) by leveraging domain-driven augmentation and architectures that embed some prior (e.g., 2D-COS imposes a structure to exploit, and DRSN includes built-in feature filtering).

The success of deep residual shrinkage networks in Wu et al.'s work [6] underscores that integrating signal denoising into the model architecture can yield performance gains in noisy, high-dimensional spectral data. As ML theory and tools progress, we may see more customized networks for spectroscopic data, or the use of transfer learning – for instance, pretraining on a large dataset of food spectra or images and fine-tuning for honey.

In the specific context of Mānuka honey, one future direction is the development of a standardized, ML-based authentication platform. With New Zealand's UMF (Unique Mānuka Factor) grading system and government-defined criteria, there is an opportunity to incorporate ML models to cross-verify those criteria rapidly. For example, a portable device that checks the chemical marker profile (via spectroscopy) and the pollen content (via imaging) with ML could provide a field-deployable authenticity score. This would augment the current chemical tests and could add a layer of defense against sophisticated fraud (like blending genuine Mānuka with just enough markers to pass tests – an ML model considering full spectral data might catch inconsistencies that a handful of markers miss).

5. Results.

The convergence of machine learning with advanced sensing techniques has yielded impressive results in impurity prediction for Mānuka honey and honey in general.

Supervised ML models can detect adulterated honey with very high accuracy. In a comparative evaluation using Vis-NIR spectroscopy data from honey samples, both SVM and Random Forest classifiers achieved **100% accuracy** in distinguishing pure honey from honey adulterated with up to 50% cheap honey [2]. Similarly, Ahmed (2024) reported that various ML algorithms (including ANN and SVM) on hyperspectral data all exceeded **98% classification accuracy** for identifying adulterated samples [1].

Taken together, the results across various investigations reinforce that machine learning methods are not only theoretically sound for detecting honey impurities, but in practice they deliver high accuracy and actionable insight. ML models can effectively serve as “virtual chemical sensors,” picking up on the multi-dimensional spectral or image cues of authenticity. They can provide a level of assurance (e.g., 98–100% confident classification) that rivals or exceeds traditional tests, and do so with greater speed.

6. Conclusion.

In conclusion, machine learning has proven to be a “sweet” solution for honey authenticity – particularly for Mānuka honey, which has a lot riding on its purity. It provides tools that are fast, accurate, and adaptable, embodying the modern approach to an age-old problem of food fraud. By continuing to refine these methods and address practical deployment challenges, stakeholders can ensure that the extraordinary honey labeled as “Mānuka” is truly worthy of the name. The success of this endeavor not only protects consumers and honest producers but also showcases how interdisciplinary innovation (melding IT, biology, and chemistry) can enhance food safety and quality assurance in the 21st century.

References:

1. Ahmed, E. (2024). Detection of honey adulteration using machine learning. PLOS Digital Health, 3(6), e0000536. <https://doi.org/10.1371/journal.pdig.0000536>
2. Calle, J. L. P., Punta-Sánchez, I., González-de-Peredo, A. V., Ruiz-Rodríguez, A., Ferreiro-González, M., & Palma, M. (2023). Rapid and automated method for detecting and quantifying adulterations in high-quality honey using Vis-NIRs in combination with machine learning. Foods, 12(13), 2491. <https://doi.org/10.3390/foods12132491>
3. He, C., Gkantiragas, A., & Glowacki, G. (2019). Honey authentication with machine learning augmented bright-field microscopy. arXiv:1901.00516 [cs.LG]. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1901.00516>
4. Yang, X., Guang, P., Xu, G., Zhu, S., Chen, Z., & Huang, F. (2020). Manuka honey adulteration detection based on near-infrared spectroscopy combined with aquaphotomics. LWT – Food Science and Technology, 132, 109837. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109837>
5. Fadelli, I. (2019, January 21). Researchers develop a machine learning method to identify fake honey. TechXplore/Phys.org. <https://phys.org/news/2019-01-machine-method-fake-honey.html>
6. Zhao, M., Zhong, S., Fu, X., Tang, B., & Pecht, M. (2020). Deep residual shrinkage networks for fault diagnosis. IEEE Transactions on Industrial Informatics, 16(7), 4681–4690. <https://doi.org/10.1109/TII.2019.2943898>

University and War: Life Beyond the Red Line

Andrii Shaykan¹, Ievgen Babakov²

¹DSc, professor, rector of the State University of Economics and Technology (Ukraine)

²Ambassador of the State University of Economics and Technology (Ukraine)

avshaikan@gmail.com, evgeniy.babakov@gmail.com

Abstract

This article analyzes the transformation of Ukrainian universities in the context of the full-scale war launched by the Russian Federation against Ukraine on February 24, 2022. The authors examine how higher education institutions were faced with the need to make strategic decisions in a situation of existential threat and to fulfill the role of institutions of state stability. Based on the case study of the State University of Economics and Technology (Kryvyi Rih), three stages of the university's transformation in wartime are revealed: overcoming the shock period, forming and implementing protocols for wartime functioning, and transitioning to strategic development focused on recovery and innovation.

Keywords: university, war, institutional stability, education, sustainable development, innovative campus, recovery, educational ecosystem.

On February 24, 2022, the world woke up to a new reality – the reality of full-scale war on the European continent. The Russian Federation launched an unprovoked invasion against Ukraine and its people. This is not a case of a local armed conflict but a genocidal war and a grave violation of international law.

In that moment, every Ukrainian – from the President to an ordinary worker, from schoolchildren to retirees – faced a fundamental choice: to fight or to surrender. That same question was posed collectively and individually. Today, we know the answer Ukrainians and the broader democratic world gave. But back then, on February 24 and in the days that followed, that decision had to be made and lived out through action. Ukrainian universities were no exception.

They had to find their place in the chaos, maintain governance, adopt a plan of action in real-time, respond to external shocks, and balance their roles as institutions, public servants, and civic actors. That morning became a red line – a moment of no return – after which universities found themselves in a new existential context.

Some universities were immediately caught in the line of fire. Their top priority became the evacuation of students, staff, documents, and valuable property. Others, located near or close to the frontline, quickly transformed into logistical hubs – meeting and redirecting displaced persons, offering psychological and material support, and coordinating access to safer regions, often through educational pathways.

A third group of universities, situated farther from active combat zones, became destinations for relocated institutions and internally displaced students and civilians.

Those in the first group often ceased functioning de facto after losing their facilities and staff. Some managed to relocate and maintain legal continuity, awaiting the liberation of their territories and a return to normal operation.

The third group stabilized and resumed development under wartime conditions, to the extent possible in a country defending its sovereignty.

But it is the second group – those operating just beyond the front – that presents perhaps the most compelling case. The majority of Ukrainian universities are public institutions. In wartime, this status came with additional responsibilities: they became agents of state resilience.

One such case is the State University of Economics and Technology (SUET) in Kryvyi Rih – the furthest point reached by Russian forces in their attempted southern offensive. Here, the invaders were stopped and forced to retreat. SUET's wartime journey reflects the transformation experienced by Ukraine's frontline universities.

First, SUET immediately pivoted its mission to serve as a humanitarian logistics center. Dormitories were repurposed, and faculty, students, and local volunteers mobilized.

Second, the university had to preserve administrative control under extreme uncertainty. Three parallel governance systems were deployed:

1. Remote operations from Kryvyi Rih;
2. A backup relocation structure based in western Ukraine;
3. A fully virtual command center, unbound by physical infrastructure.

The university never stopped its academic operations – it simply transitioned to distance learning, utilizing tools and skills developed during the pandemic.

During the first days and weeks of war, the Ministry of Education temporarily delegated extraordinary functions to certain universities, including SUET. These included tasks that typically fall far outside the scope of higher education – helping to stabilize the entire educational system amid national emergency.

Going forward, the resilience and adaptability of the educational system – its ability to self-organize under stress – will likely be studied as a key factor in Ukraine's resistance to aggression. These lessons may intersect deeply with the logic of the Sustainable Development Goals, both for individual universities and for the national system.

Third, SUET prepared evacuation protocols for archives and documents, triaging them into groups for removal, preservation-in-place, or destruction if necessary.

Fourth, emergency staff evacuation plans were developed from scratch – no existing documents could guide such scenarios, as Ukraine had no intention of engaging in war.

Fifth, SUET ensured the continuous 24/7 operation of its five bomb shelters, open to anyone in need of protection.

The university also supported undisclosed missions coordinated by the regional military administration.

In April 2022, SUET launched an Education Hub – a consultation and coordination center for citizens seeking to continue their education amid displacement. Around 80% of visitors were looking to enroll in universities in Ukraine's western regions. The university thus fulfilled its constitutional duty to guarantee access to education and even hosted sessions of the National Multi-Subject Test for school graduates.

The first five months of war were defined by emergency operations. By July 2022, as the war turned protracted, SUET began preparing for its first full academic year under martial law, organizing activities along three tracks:

1. Educational continuity under wartime conditions;
2. Support for critical infrastructure and civil society – including heating points, energy reserves, food and aid storage;
3. Research and consultancy projects for wartime stakeholders (most of which remain confidential and undocumented).

In summer 2023, Kryvyi Rih was hit by a war crime – the destruction of the Karachunivske Dam and the Kakhovka Hydroelectric Dam. SUET suspended routine work to conduct emergency evacuation procedures and received new waves of displaced persons.

During volunteer humanitarian work, four SUET students were killed by a missile strike. On July 31, 2023, the university experienced its worst loss: a direct hit by a Russian Iskander-M missile destroyed an entire academic complex. Ten buildings were damaged, five beyond repair. One staff member was killed and over ten others injured.

After 18 months of full-scale war, SUET had developed protocols for various wartime emergencies and shifted its focus from survival to transformation. The university launched international partnerships not just for aid, but for long-term development aligned with sustainability principles.

One flagship project is “STEM & School Day” with Finland’s Aalto University, focused on addressing wartime learning loss in math, physics, and chemistry.

Another is the dual education initiative “New Factory” with ArcelorMittal, which expanded significantly in scope and impact.

SUET also developed training and retraining programs for veterans and civilians affected by war, including first-aid, psychological support, and vocational rehabilitation.

Remarkably, the university preserved its annual International Scientific Congress: Society of Ambient Intelligence, held for the seventh time on December 2–6, 2024.

By late 2023 – early 2024, SUET entered a new strategic phase. The goal was no longer just to respond to crises – but to shape the future. The university embraced a vision of not rebuilding the past, but creating a new ecosystem rooted in sustainable development.

This vision is embodied in LID HUB: Ukrainian Dawn (LID = Liberty, Innovation, Development) – a smart campus being constructed on the ruins left by the July 2023 missile strike.

LID HUB is a smart, service-oriented ecosystem that combines:

- Research and innovation;
- Education and startups;
- Cultural and sports spaces;
- Rehabilitation and business environments.

It is part of an international innovation cluster in construction and includes labs for e-power systems, robotics, smart housing, BIM modeling, marketing, and design.

Partners include Aalto University, Metropolia University, Future Construction Hub TITAN, and private industry. The partner list is open for expansion. A proposal has been submitted to ERASMUS-EDU-2025 for project funding.

In conclusion, after three and a half years of war, we can say that life does exist beyond the red line. The nature and quality of this life depend on how quickly universities can adapt and respond.

The first phase is overcoming the shock to the governance system – typically lasting from a few weeks to six months.

The second phase is the development of wartime operating protocols – testing the university's ability to function under prolonged stress. This lasts at least 18 months and includes full operational and academic cycles.

Only those universities that pass these phases and build meaningful partnerships – not solely based on humanitarian aid – can enter the third phase: laying the foundation for renewal and growth.

The strategic mission of any university that crosses the red line must be to reach this third phase. Only by aligning its goals with the values and interests of its partner community can it remain an active, resilient node within the broader network of cooperation. Otherwise, in a hot war, institutional resources will quickly be exhausted – with all the predictable consequences that follow.

Using Data Mining Approaches to Study Youth Readiness for Industry 4.0

Yuliia Bartashevskaya, Halyna Ryzhkova

Alfred Nobel University, Ukraine

bartashevskaya@duan.edu.ua, g.ryzhkova@duan.edu.ua

Abstract

One of the most pressing and most discussed issues in the modern world is the impact of Industry 4.0 on the labor market. These technological changes are not only related to automation, digitalization and artificial intelligence, they are capable of changing the foundations of the economy, namely: the methods of production and business organization, lead to significant changes in the labor market, and as a result affect the distribution of jobs and the successful career of any person.

To successfully adapt to these changes, it is necessary to invest in education and vocational training so that young people can acquire the necessary skills and adapt to new technologies. In addition, it is important to develop policies and support measures that will help workers whose professions are becoming obsolete due to automation to retrain and find new employment opportunities.

The study conducted a comparative analysis of the level of readiness of young people for employment in the conditions of Industry 4.0 using the example of two countries - Poland and Ukraine. The findings indicate that the problem of youth employment is caused not only by technological challenges, but also by the insufficient use of educational opportunities and the slow adaptation of institutions to digital changes.

Keywords: Industry 4.0, automation, digitalization, artificial intelligence, youth employment, education, professional adaptation.

1. Introduction.

Despite potential threats, automation, digitalization, and artificial intelligence create new opportunities for development.

Manifestations of Industry 4.0 can increase the efficiency of production and information processing. Robotization of production allows you to reduce the time for production processes, reduce the likelihood of errors, and improve product quality [1, 2]. Digitalization of business processes simplifies and speeds up the performance of tasks, reduces bureaucratic burdens, and increases the availability of information [3]. Artificial intelligence makes it possible to automate many tasks that previously required human intervention, such as data analysis, trend forecasting, and decision-making.

However, these technological changes also create challenges and threats for the labor market. Automation and robotization can lead to a decrease in demand for certain types of labor, especially for routine and low-skilled jobs. A number of professions may become obsolete or lose their demand due to automation. This can lead to increased unemployment and job instability, especially among low-skilled workers [4, 5], for example, young people [6].

New technologies require new skills and competencies, which can lead to the emergence of new types of jobs and a demand for specialists in information technology, engineering, data analytics and other related fields [7]. In addition, automation can make some types of work safer and less monotonous, freeing people from routine tasks and allowing them to focus on more creative and strategic aspects of their work [8].

Automation, digitalization and artificial intelligence have a profound and multifaceted impact on the labor market, posing certain challenges and threats, but they also create new opportunities for development and growth [9]. Effective management of these changes requires joint efforts from governments, businesses, educational institutions and society as a whole.

Digital technologies have the greatest impact on society and labor relations, significantly transforming the issues of employment and unemployment of any person. At the same time, structural shifts in the modern

economy, changes in the content and organization of work, the blurring of the boundaries between the employed and the unemployed, dynamic changes in the structure of the working population have an ambiguous and contradictory impact on youth employment, deepening the problem of youth unemployment in the context of Industry 4.0.

2. Methodology.

The study of the readiness of young people in Ukraine and Poland was conducted in 2022 using an integrated approach that combines quantitative and qualitative analysis methods. The main empirical tool was a survey of students using the CAWI (Computer-Assisted Web Interviewing) method, which allowed collecting structured data from 1,155 respondents from both countries (45% were respondents from Ukraine, 55% from Poland), aged 18-26. The survey was conducted using an author's questionnaire designed to self-assess students' awareness, attitude and level of preparedness for the conditions of the digital economy and Industry 4.0, where the answers were graded from "absence" of skills to "very high" level of proficiency. The representativeness of the sample was ensured by adhering to the standards of sociological research: the maximum error does not exceed 4%, the confidence level is 98%. Additionally, a content analysis of relevant international studies, policy documents, and statistical reports was conducted to identify global trends and risks associated with the impact of digital technologies on the labor market.

3. Discussion.

To process the results of the study, the Delta Model from the global McKinsey Institute was chosen [10]. The model is the result of a survey of 18,000 people in 15 countries and allows us to determine the basic skills of the future for educating citizens in a digital environment. According to McKinsey, soft skills and hard skills should be divided into 4 categories: cognitive, digital, interpersonal and self-leadership. Each group has 3-4 subgroups, which in turn contain certain skills. A total of 56 skills in 13 groups and 4 categories [10].

Let us divide the results of our study into 4 categories according to the Delta Model (Table 1).

Table 1.

Distribution of research skills by Delta Model categories

Category	Group	Skill
Cognitive skills	Critical thinking	Structured problem solving
		Logical reasoning
		Understanding biases and seeking relevant information
	Planning and ways of working	Agile thinking
	Mental flexibility	Creativity and imagination
		Adopting to different contexts
		Desire and ability to learn
Interpersonal skills	Developing relationships	Communication skills
	Teamwork effectiveness	Resolving conflicts
		Collaboration
Self-leadership	Self-awareness and self-management	Understanding own emotions and triggers
	Goals achievement	Result orientation
		Self-improvement
Digital skills	Digital fluency and citizenship	Digital literacy, AI
		Digital literacy, cloud computing
		Digital literacy, automation, and robotics
		Digital literacy, AR/ VR
	Software use and development	Programming literacy
		Data analytics, Big Data
		Algorithmic thinking
	Understanding digital systems	IoT
		Cybersecurity literacy

According to Table 1 and the results of our survey, we have 22 skills, divided into 4 categories and 10 groups.

4.Results.

To determine the real distribution of competencies in the sample and identify hidden skill groups with similar proficiency profiles, we will cluster the survey results distributed according to Table 1 using the k-means method.

The algorithm is one of the most common, simple, but effective, the principle of which is to minimize the distance between each object in the cluster and the center of the cluster by calculating the Euclidean distance [11]. K-means works by iteratively distributing objects (in our case, skills) into clusters, minimizing the sum of the squares of the distances from each object to the centroid of its cluster. Another advantage of the method is fast convergence, but it requires an initial definition of clusters. It is the careless determination of their number that can lead to inaccuracy of the method [12].

To determine the number of clusters according to [13], you can use: the elbow method, gap statistics, the silhouette method, and the canopy method, each of which has its own advantages and disadvantages. We will use the elbow method, which allows us to visually (based on the graph) find the point where adding a new cluster no longer leads to a significant improvement in the quality of the model. For our study, $k=3$ (Fig. 1) is optimal, as it provides a clear division of skills into groups.

Also, before performing clustering using the k-means method, preliminary cleaning and data reduction were performed, as well as their normalization. Each skill was converted from absolute values (number of people) to a percentage distribution for each of the five proficiency levels. This approach ensures that each skill has the same weight in the clustering process, regardless of the total number of respondents who answered a specific question.

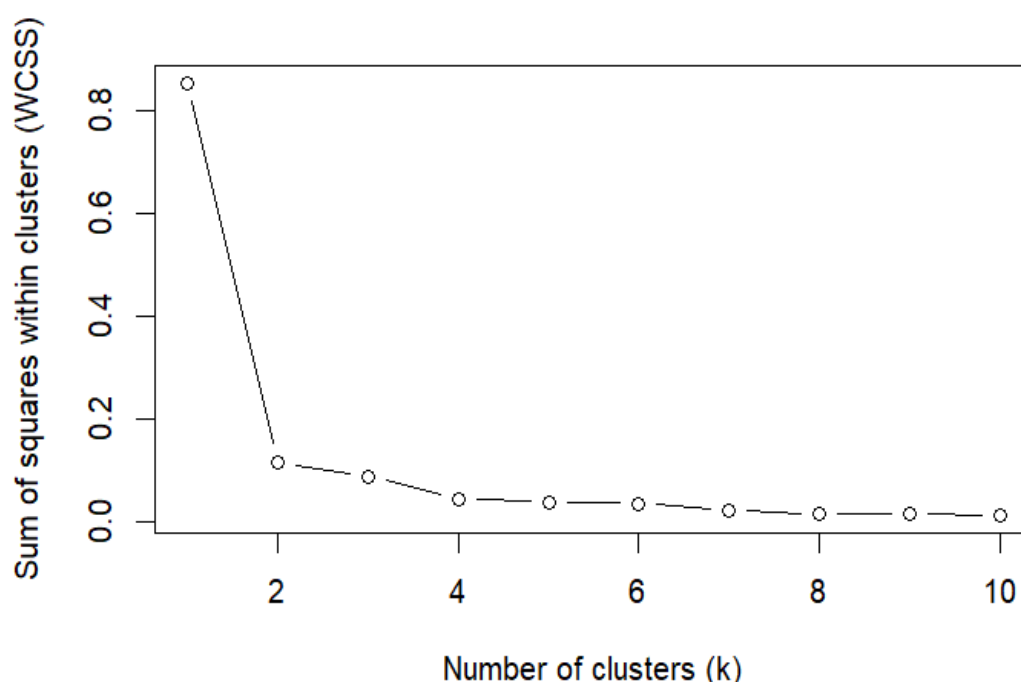


Fig. 1. Determine the count of clusters by Elbow Method

The results of the cluster analysis revealed three clearly defined skill groups, each characterized by a unique proficiency profile. Each cluster was given a name reflecting its main characteristics, namely: Technological and Analytical Competencies (1), Socio-Communicative Competencies (Basic) (2), Digital Engineering and Programming Competencies (3) (Fig.2).

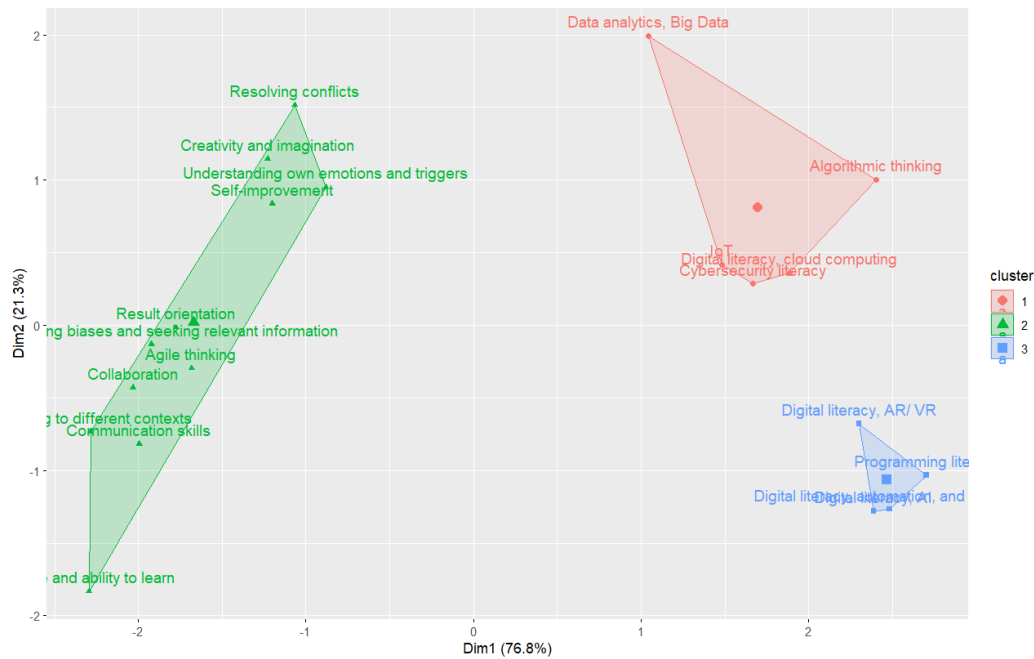


Fig. 2. Skill clustering by the K-means method

The cluster *Social and Communicative Competencies (basic) (2)* is the most numerous and includes cognitive and interpersonal skills. The cluster is characterized by a high concentration of responses in the categories "High" and "Average" (37.6% and 32.5%, respectively). This indicates that the skills combined in this cluster are widely developed for most applicants. These include such competencies as: Agile Thinking, Structured Problem Solving, Logical Reasoning, Communication skills, Collaboration, etc. The main goal for the skills of this cluster is not so much in their intensive development, but in their maintenance and effective use for solving problems and establishing cooperation.

The cluster *Technological and Analytical Competencies (1)* in terms of the number of skills in it almost coincides with the cluster *Digital Engineering and Programming Competencies (3)*, but the latter contains more highly specialized skills: Digital literacy, AI; Digital literacy, automation, and robotics; VR/AR; Programming literacy. Skills of the cluster Technological and Analytical Competencies (1), namely: Digital literacy, cloud computing; Data analytics, Big Data; Algorithmic thinking; Internet of Things (IoT); Cybersecurity literacy have a higher percentage of "Very high" (12%) and "High" (29.8% of respondents) compared to Cluster 3, and less "None" (7.5% of respondents). Skills of cluster 3 are relatively new (except for programming), highly specialized, they have the highest percentage of "None" (18.3%) and "Low" (26.8% of respondents), and the lowest percentage of "Very high" (8.8%). This gap can be explained by the fact that most of these skills began to be implemented in 2022, and the surveyed students do not yet have a good command of them. The *Digital Engineering and Programming Competencies Cluster (3)* identifies the needs of the future, signals the largest educational gap, and the need for strategic investments in training and the development of the necessary skills market.

5. Conclusion.

Based on the conducted study of the readiness of students in Ukraine and Poland to work in the conditions of Industry 4.0, and the skills they have acquired, we can draw the following conclusions:

- the strengths are the Cognitive Skills, Interpersonal Skills and Self-Leadership groups, which have a high level of self-esteem among students. These are the skills that need to be combined/integrated with technical ones;
- the digital skills group is divided into two clusters with almost the same number of components. Cluster 1 should include skills that are already necessary for the current market, and cluster 3 consists of promising skills that are needed by the market and those that require investment. This is

where the biggest gap in competencies lies. In general, digital skills in both clusters require development and comprehensive programs to improve them, as more than 25% of respondents have a “None” proficiency level and almost 45% have a “Low” proficiency level.

Certificate courses and/or mandatory modules on cyber literacy development and LLM application can be used to develop digital competencies. Also, workshops and hackathons on programming and robotics, specialized lectures and internships at leading technology companies during training should change the employment situation of young people for the better.

References:

1. Agrawal, A., Gans, J. S., & Goldfarb, A. (2019). Artificial intelligence: The ambiguous labor market impact of automating prediction. *Journal of Economic Perspectives*, 33(2), 31–50.
2. Acemoglu, D., & Restrepo, P. (2020). Robots and jobs: Evidence from US labor markets. *Journal of Political Economy*, 128(6), 2188–2244.
3. Дашко, І., Череп, О., & Михайліченко, Л. (2024). Розвиток штучного інтелекту: переваги та недоліки. *Економіка та суспільство*, (67). <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2024-67-31>
4. Humlum, A. (2019). Robot adoption and labor market dynamics [Working paper]. Princeton University.
5. Im, Z. J. (2020). Automation risk and support for welfare policies: How does the threat of unemployment affect demanding active labour market policy support? *Journal of International and Comparative Social Policy*, 37(1), 76–91.
6. Im, Z. J., Mayer, N., Palier, B., & Rovny, J. (2019). The “losers of automation”: A reservoir of votes for the radical right? *Research & Politics*, 6(1).
7. Inglehart, R., & Norris, P. (2019). *Cultural backlash: Trump, Brexit, and the rise of authoritarian populism*. Cambridge University Press.
8. Marengo, M., & Seidl, T. (2021). The discursive construction of digitalization: A comparative analysis of national discourses on the digital future of work. *European Political Science Review*, 13, 391–409.
9. Syed, R., et al. (2020). Robotic process automation: Contemporary themes and challenges. *Computers in Industry*, 115, 103162.
10. Dondi, M., Klier, J., Panier, F. and Schubert, J. (2021). Defining the skills citizens will need in the future world of work. URL: <https://www.mckinsey.com/industries/public-sector/our-insights/defining-the-skills-citizens-will-need-in-the-future-world-of-work>, last accessed 2025/04/24.
11. Indra, H., M Alfin K., Triyani, Mutia Nur E., Renny (2025). A more precise elbow method for optimum k-means clustering. URL: <https://arxiv.org/pdf/2502.00851>, last accessed 2025/09/26.
12. X Li, L Yu, L Hang, and X Tang (2017). The parallel implementation and application of an improved k-means algorithm. *J. Univ. Electron. Sci. Technol*, 46:61–68, 2017.
13. Chunhui Yuan and Haitao Yang. Research on k-value selection method of k-means clustering algorithm. *J*, 2:226–235, 6 2019.

Decision Support Model for Monitoring Psychophysiological State with Wearable Edge AI

Volodymyr Zaslavskyi¹, Evgeni Timashov¹, Zebur Beridze²

¹Taras Shevchenko National University of Kyiv, Ukraine

²Batumi Shota Rustaveli state university, Georgia

zas@unicyb.kiev.ua, zerur.beridze@bsu.edu.ge

Abstract

In the modern world of operations that include defense, emergency medicine, and control of energy systems, the most unpredictable element remains human beings. Machines can be tested and software can be debugged, but the human factor shifts rapidly. A person may begin the day sharp and fully concentrated and then in just a few hours lose focus, slow down reactions, and make mistakes. Some of these mistakes are small and only add noise to the workflow, but others can have fatal consequences.

Traditional methods of monitoring stress and readiness are insufficient. Questionnaires rely on subjective answers. Medical check-ups are periodic and static. Psychological interviews capture a snapshot but not the constant dynamics. This means that real changes often pass unnoticed until the damage is already visible.

This work describes a wearable system with Edge AI that addresses the gap. The system combines two measures. The first is the Cognitive Readiness Index or CRI, which reflects short-term readiness. The second is the Destabilization Risk Index or DRI, which reflects long-term resilience. Both rely mainly on HRV data, supported by electrodermal activity, motion signals, and body temperature. Computation is done locally on the device. The aim is to reduce immediate errors and at the same time protect long-term health.

Keywords: FPGA, Edge AI, Zynq SoC, Psychophysiological Monitoring, Decision Support Systems, HRV, Acute Stress Detection, Wearable Technology.

1. Introduction.

The decline of performance under pressure is well documented. At first it shows in hesitation and slightly slower responses. Later the same pressure leads to poor concentration and higher error rates. After extended exposure it becomes clear fatigue or even full breakdown.

Examples are easy to find. Soldiers on extended field exercises lose attention after several nights without proper sleep. Doctors in emergency departments start the day performing at a high level but after twenty hours on duty they show lapses and misjudgments. Operators in power grid control rooms maintain concentration for hours but after too many alarms their attention drifts and serious mistakes may follow up with [1].

Existing systems are not sufficient. Self-assessment forms are unreliable because people misjudge themselves. Medical evaluations are too rare to be useful in dynamic environments. Stress is continuous and fast while evaluation tools are static and slow.

The technology of wearables has opened a new possibility. Small sensors for ECG, accelerometers, and skin conductance can be worn without interfering with tasks. Edge processors can analyze the data directly on the device. This solves two major problems. First, it works without internet, which is important for secure and remote zones. Second, private health data remain local, which protects users from surveillance risks.

Most current solutions look only at short-term acute stress or only at long-term chronic effects. Real life is both. Short stress events accumulate and create chronic risk. That is why the proposed model integrates both.

2. Methodology.

Hardware platform

The system is a wearable medical diagnostic complex built on FPGA Zynq. The choice is motivated by three reasons. First, FPGA supports parallel data processing, which is needed for real-time signals. Second, energy use is low, which is important for field work. Third, FPGA allows integration of AI accelerators on the same platform.

The sensors included are ECG for HRV measurement, electrodermal activity sensors for arousal, IMU for physical activity and posture, and temperature sensors for long-term physiological tracking. An accelerator runs neural networks directly on the device so only indices are stored or sent.

Data Acquisition and Feature Extraction

The R–R interval is the time between two consecutive R-peaks in the QRS complex of an electrocardiogram (ECG). It reflects the duration of one cardiac cycle and is the fundamental measure used to calculate heart rate variability (HRV). The analysis is centered on Heart Rate Variability (HRV), a widely accepted marker of autonomic nervous system (ANS) dynamics [2,3]. From ECG signals, R–R intervals are extracted. For each time window, a feature vector is formed, including time-domain features, frequency-domain features, nonlinear features [4].

One important metric is RMSSD, which reflects vagal activity:

$$RMSSD = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^{N-1} (RR_{i+1} - RR_i)^2},$$

where N is the number of R–R intervals in the window.

RMSSD reflects short-term variability. Low RMSSD is usually a sign of stress or fatigue.

Other metrics include SDNN, LF/HF ratio, and nonlinear measures such as entropy. Each metric gives only partial information. Together they produce a more stable view of autonomic balance [5].

Context awareness and adaptive baselines

Physiological signals cannot be interpreted without context. A high heart rate may signal stress but it may also mean that the person is running or climbing stairs. To reduce false alarms, IMU data are added to interpret changes correctly.

Baselines are not constant. Normal values for a soldier in the first week of training are not the same as after a month. To capture gradual adaptation, the system uses Exponentially Weighted Moving Average:

$$\mu_t = \alpha x_t + (1 - \alpha)\mu_{t-1},$$

where α is the smoothing factor, x_t is the latest observation, and μ_t is the updated mean.

This approach updates baselines smoothly. Temporary spikes do not change the baseline but long-term shifts are reflected.

Cognitive Readiness Index (CRI)

The Cognitive Readiness Index is a measure of immediate readiness. The model calculates Mahalanobis distance between current features and baseline:

$$D^2 = (x - \mu)^T \Sigma^{-1} (x - \mu),$$

where x is the feature vector, μ is the baseline mean, and Σ is the covariance matrix.

This distance is then transformed into a score:

$$CRI = e^{-\beta D^2},$$

where β is a scaling parameter.

High CRI means the person is close to baseline and ready. Low CRI means deviation and risk.

To link CRI with real errors, logistic regression is applied:

$$P(E) = \frac{1}{1 + e^{-(\gamma_0 + \gamma_1 CRI)}},$$

where $P(E)$ is the probability of error, and γ_0, γ_1 are regression coefficients.

This equation estimates the probability of mistakes. Tests have shown that lower CRI correlates with higher error rates in vigilance tasks.

Destabilization Risk Index (DRI)

The Destabilization Risk Index reflects long-term resilience. It is based on a CNN LSTM neural model trained on sequences of HRV and related features. CNN layers extract local patterns. LSTM layers capture temporal dynamics.

To create a composite index, the neural model's output is combined with anomaly scores and historical data using a weighted scheme:

$$DRI = w_1 P_{CNN-LSTM} + w_2 S_{anom} + w_3 H_{hist}, \sum_{i=1}^3 w_i = 1,$$

where $P_{CNN-LSTM}$ is the probability of being in a pre-episode state, S_{anom} is the anomaly score, and H_{hist} represents historical destabilization factors.

3. Results

At the current stage results are expected rather than final. Cognitive Readiness Index is predicted to show correlation with errors and reaction times in laboratory tests. Adding IMU context should reduce false alarms. Destabilization Risk Index is expected to achieve AUC higher than 0.85 in detecting early destabilization [7]. A prototype on FPGA Zynq will be prepared and will be tested first with soldiers in training environments and later in emergency response drills.

Comparisons will also be done against classical surveys and medical instruments to see whether the device produces equal or better prediction.

4. Discussion

The main contribution is integration of short-term and long-term monitoring. Most previous systems separate them. The theory of allostatic load describes how repeated stress leads to chronic burden [8]. The combined model is an attempt to reflect this.

Cognitive Readiness Index is tactical. It helps leaders know who is ready at the moment. Destabilization Risk Index is strategic [9,10]. It provides early warning before a breakdown. Together they give a more complete picture of human performance.

Local processing on the device has several benefits. It ensures privacy because raw data are not transmitted [11,12]. It ensures independence because no internet is required. Both are critical in secure and remote conditions.

Challenges remain. Collecting long-term datasets is difficult. Deep learning models require large training data. Adoption may face resistance because people fear surveillance. To solve this, clear rules and transparent governance must be developed. Trust is essential. Without trust the system will not be accepted.

5. Conclusion

This work presented a model for monitoring psychophysiological state with a wearable Edge AI device. It combines Cognitive Readiness Index for short-term readiness with Destabilization Risk Index for long-term resilience. Both indices are based on HRV supported by other signals. Baselines are adaptive. Context is included. Computation is local.

Future work includes collection of larger datasets, validation in real field conditions, and development of transparent policies. If implemented with trust, the system could reduce immediate mistakes and protect long-term health [13].

References:

1. Zaslavskiy V., Horbunov, O. The type-variety principle in ensuring the reliability, safety and resilience of critical infrastructures. In: Gaivoronski, A. A., Knopov, P. S., Zaslavskiy, V. A. (eds.) *Modern Optimization Methods for Decision Making Under Risk and Uncertainty*, CRC Press Taylor & Francis Group, Boca Raton; London; New York (2023). pp.245–274.
2. Shaffer, F., & Ginsberg, J. P. (2017). An overview of heart rate variability metrics and norms. *Frontiers in Public Health*, 5, 258.
3. Forte, G., Favieri, F., & Casagrande, M. (2019). Heart Rate Variability and Cognitive Function: A Systematic Review. *Frontiers in Neuroscience*, 13, 710.
4. Kim, H. G., Cheon, E. J., Bai, D. S., Lee, Y. H., & Koo, B. H. (2018). Stress and Heart Rate Variability: A Meta-Analysis and Review of the Literature. *Psychiatry Investigation*, 15(3), 235–245.
5. Sclocco, R., et al. (2024). Heart Rate Variability as a Longitudinal Predictor of Cognition: A Systematic Review. *Journal of Clinical Medicine*, 13(1), 280.
6. Smith, R., et al. (2023). The heart-brain axis: A contemporary review of the role of heart rate variability in cognitive and emotional regulation. *Frontiers in Neuroscience*, 17.
7. Zaslavskiy V., Horbunov O., Kliatskiy Y. Creation of a decision support systems for individual healthy improvement of person working at critical infrastructure facilities. International Scientific Conference Mathematical Modelling, Optimization and information technologies. Chisinau-2022, P. 141-146
8. McEwen, B. S. (1998). Protective and damaging effects of stress mediators: Allostasis and allostatic load. *New England Journal of Medicine*, 338(3), 171-179.
9. Guidi, J., Lucente, M., Sonino, N., & Fava, G. A. (2021). Allostatic Load and Its Impact on Health: A Systematic Review. *Psychotherapy and Psychosomatics*, 90(1), 11–27.
10. Romero, L. M., & Wingfield, J. C. (2022). Allostasis revisited: A perception, variation, and risk framework. *Frontiers in Ecology and Evolution*, 10
11. Al-Shareeda, Mahmood & Yue, Li & Manickam, Selvakumar. (2024). Review of Edge Computing for the Internet of Things (EC-IoT): Techniques, Challenges and Future Directions. 4. 1-11.
12. Buller, M. J., et al. (2023). *Wearable Sensors for Physiological Monitoring of Service Members and First Responders*. National Center for Biotechnology Information.
13. Queen, R. M., et al. (2025). Usability and Comfort of the LifeLens Wearable Device in a High-Intensity Military Training Environment. *Military Medicine*, 190(Supplement_2), 109–115.

Theoretical Approaches to Defining the Essence of Entrepreneurship

Natallia Yatsevich

Gomel Branch of the International University «MITSO», Belarus

natyatsevich@yandex.ru

Abstract

This article discusses and synthesizes various scientific approaches to defining the essence of entrepreneurship and the concept of an entrepreneur as an individual engaged in the entrepreneurial process. Emphasis is placed on the necessity of forming an entrepreneurship paradigm grounded in an interdisciplinary scientific framework.

Keywords: entrepreneurship, entrepreneur, entrepreneurship paradigm, entrepreneurial personality

1. Introduction.

Entrepreneurship is an integral element of national economic development in most countries worldwide and remains an indispensable attribute of a market economy. Consequently, many contemporary scholars regard the entrepreneurial component as a vital social and economic institution that plays a crucial role in establishing and maintaining the foundations of the market system.

2. Methodology.

The general research methods are comprehensive theoretical analysis, systematization, and generalization of existing scientific ideas concerning the subject under study. A special feature of this research is the application of an interdisciplinary approach, integrating insights from both economic and psychological scientific fields.

3. Discussion.

The phenomenon of entrepreneurship is widely represented in the works of scholars from various scientific schools and disciplines. The theory of entrepreneurship is characterized by its interdisciplinarity, as it is studied not only within economics but also in sociology, law, philosophy, history, psychology, and other fields. Therefore, it is essential to develop a unified paradigm of entrepreneurship as an integrative scientific discipline that synthesizes methodological approaches from various scientific disciplines and deepen scientific knowledge in this field. In our opinion, the entrepreneurship paradigm should be a theory that includes a set of generally accepted ideas about the key foundations of entrepreneurship and the development of scientific knowledge based on the expansion of conceptual views on this scientific problem.

The key foundations of the entrepreneurship paradigm in our opinion include the following:

- the definition of core concepts such as “entrepreneurship” and “entrepreneur”;
- the object and subject of entrepreneurship theory;
- classification and typology of initial categories;
- hypotheses regarding the processes involved in entrepreneurship, including assumptions about underlying patterns;
- the logical structure of entrepreneurship theory;
- statements and laws derived from the theory;

- the mechanisms of interaction through which entrepreneurship manifests and implements itself as an economic phenomenon;
- the methodology of entrepreneurship research.

In this article, we will highlight some approaches to the definition of the concepts of “entrepreneur” and “entrepreneurship” found in the scientific literature. In the research of economists, entrepreneurship is often considered as one of the factors of production. This approach is also noted by the authors of dictionaries and encyclopedias. So, in the Complete Encyclopedic Dictionary “Economics”, an entrepreneur is called an individual who unites and organizes the factors of production, creating an enterprise in order to make a profit. The dictionary notes that an individual can supply the factors of production (one or more) of the three existing ones (natural resources, labor, capital) himself, but can rent or buy them based on future profits. The function of the entrepreneur can be considered the fourth factor of production, calling it the “guiding will” [1, p. 156].

However, there is another point of view in the literature that we support. Thus, Mark Blaug in his work “Economic theory in retrospect”, analyzing the theory of profit, notes that in a state of long-term competitive equilibrium, the payment of each factor, including the employer of labor, is equal to the monetary value of its marginal product, and the entrepreneur does not get any remainder, and the profit is zero [2, p. 424], which is a reference to the concept of L. Walras. Blaug concludes that the idea of entrepreneurship as a factor of production, in addition to the generally accepted triad of land, labor and capital, is untenable. Entrepreneurship is a function that does not meet the conditions required to determine the “production factor”, the author notes. So, if an entrepreneur is a person, then there is room in the company only for a limited number of entrepreneurs, that is, it is a stretch to talk about entrepreneurs as representatives of a homogeneous group. Entrepreneurship cannot be finely divided into entrepreneurial man-hours or other units of measurement [2, p. 425].

In our opinion, entrepreneurship should be considered in an inextricable relationship between external and internal factors. Internal factors include the personality of a person who is an entrepreneur, and external factors include the capabilities of the external environment, which are formed in three main areas (society, economy, and the governmental policy). Scott Shane in the work “A General Theory of Entrepreneurship: The Individual–Opportunity Nexus” defines entrepreneurship as “an activity that involves the discovery, evaluation and exploitation of opportunities to introduce new goods and services, ways of organizing, markets, processes, and raw materials through organizing efforts that previously had not existed” [3, p. 4]. According to this definition, academic entrepreneurship research includes the study of the following issues: why, when and how entrepreneurial opportunities arise; the sources of these opportunities and the forms they take.; the processes of discovering and evaluating these opportunities; the acquisition of resources to use these opportunities; the strategies and organizational efforts used to find these opportunities; why some people can discover and use these opportunities while others cannot.

S. Shane identifies several necessary conceptual conditions for explaining the entrepreneurial phenomenon. “First, entrepreneurship requires the existence of opportunities, or situations in which people believe that they can use new means–ends frameworks to recombine resources to generate profit”. “Second, entrepreneurship requires differences between people” [3, pp. 6-7]. The author emphasizes that entrepreneurial opportunities do not lead to results by chance, but only when a person acts. Therefore, “variation among people in their willingness or ability to act influences the

entrepreneurial process”. Thirdly, the burden of bearing the risk is necessary in the entrepreneurial process. Fourth, the entrepreneurial process requires organization, i.e. the creation of new ways to use entrepreneurial opportunities that did not exist before. Fifth, the entrepreneurial process requires some forms of innovation [3, pp. 7-8]. Thus, to explain entrepreneurship, Shane suggests an approach called the individual-opportunity nexus, which is based on the study and explanation of the “nexus of enterprising individuals and valuable opportunities” [3, p. 9].

The personality of a person as a “carrier of entrepreneurship” can be considered in several aspects. Thus, economists consider an entrepreneur as an owner of capital, an innovator, an organizer of an enterprise bearing the burden of risk and uncertainty of the external environment, etc. From the point of view of psychological science, the special personal qualities of an entrepreneur, entrepreneurial thinking and other cognitive processes, characteristic behavior, etc. are studied. From the standpoint of sociological science, an entrepreneur is considered as a member of society and a subject of public relations, a bearer of a special social status, possessing a certain social capital, exercising social mobility in a stratified society, etc. We believe that, considering the personality of an entrepreneur, it is impossible to ignore the legal aspect, which is determined by the legal context, which includes separate legal projections of the personality of an entrepreneur, presented in detail in the article [4].

4. Results.

It is possible to identify common features and identify key competencies of entrepreneurship based on a generalization of the ideas of various authors, presented in more detail in the article [5]:

1. The entrepreneur’s consent and willingness to take risks. The burden of bearing risk as a criterion of entrepreneurial activity, distinguishing it from other types of economic activity, has been noted by many scientists, starting with R. Cantillon [6]. According to the Belarusian sociologist O.V. Kobyak [7], entrepreneurs are characterized by a conscious increase in economic risk. Risk-taking fees are the basis of entrepreneurial income, so a conscious increase in risk, in our opinion, distinguishes entrepreneurs from other economic entities. The expediency of such a risk lies in the desire of entrepreneurs to extract economic benefits, and the key motive of entrepreneurial activity, obviously, is to generate entrepreneurial income.

2. Independent decision-making on the choice of economic alternatives and bearing property responsibility for these decisions and their consequences. Thus, such alternative decision-making lies at the heart of the principle of an entrepreneur’s economic freedom in choosing areas and methods of activity, which means simultaneous responsibility for these decisions. Note that, in our opinion, an entrepreneur is responsible not only for the success of his personal business, but also for the guarantees he provides for employees or business partners.

3. Innovation. The idea that entrepreneurship is inseparable from the implementation of innovative activities, and the entrepreneur’s behavior consists in the implementation of new combinations, i.e. the implementation of changes that can be identified not only with scientific and technological progress, but also organizational changes, was first put forward by J. Schumpeter [8].

4. Alertness, discernment in relation to the available market opportunities. The idea of such insight, or entrepreneurial alertness, was first proposed by I. Kirzner [9], who drew attention to the fact that entrepreneurs are characterized by the ability to realize the opportunities available in the market to generate entrepreneurial income.

5. Competitive attitude. From our point of view, competitiveness, the desire to fight over competitors is an essential feature of entrepreneurship.

6. Personal individual qualities that are characteristic of people who are entrepreneurs by nature. J.-B. Say [10] was one of the first scientists to mention entrepreneurial abilities. The literature highlights such qualities of an entrepreneur as dedication, initiative, flexibility, mobility, the ability to learn quickly, as well as high efficiency. These competencies of entrepreneurship, in our opinion, largely characterize an entrepreneur and his attributes as a “carrier of entrepreneurship”. They can manifest themselves with varying degrees of intensity depending on the specific market conditions, the specifics of the activity, and the personal qualities of the entrepreneur himself.

5. Conclusion.

Thus, entrepreneurship is a multifaceted economic and socio-cultural phenomenon. There are different approaches to defining the essence of entrepreneurship and understanding what an entrepreneur is as a business entity. In our opinion, it is necessary to develop a comprehensive paradigm of entrepreneurship, which is a set of key interdisciplinary approaches to defining the phenomenon of entrepreneurship. In addition, it is important to develop new scientific approaches to the study of the essence of entrepreneurship, corresponding to the current socio-economic stage of society's development.

References:

1. Экономика. Большой энциклопедический словарь: в 3. т. / В. Г. Гавриленко, П. Г. Никитенко, Н. И. Ядевич. – Минск : Право и экономика, 2002. – Т. III. : П–Я. – 832 с.
2. Ekonomika. Bol'shoj enciklopedicheskiy slovar' [Economics. The Complete Encyclopedic Dictionary]: v 3. t. / V. G. Gavrilenko, P. G. Nikitenko, N. I. Yadevich. – Minsk : Pravo i ekonomika, 2002. – Т. III. : P–YA. – 832 s.
3. Блауг, М. Экономическая мысль в ретроспективе / М. Блауг. – М. : Дело ЛТД, 1994. – 720 с.
4. Blaug, M. Ekonomicheskaya mysl' v retrospective [Economic Theory in Retrospect] / M. Blaug. – Moscow : Delo LTD, 1994. – 720 s.
5. Shane, S. A General Theory of Entrepreneurship: The Individual–Opportunity Nexus / S. Shane. – Cheltenham: Edward Elgar Publishing, 2003. – 327 p.
6. Яцевич, Н. В. Юридический аспект личности предпринимателя: структура и содержание / Н. В. Яцевич // Потребительская кооперация. – 2025. – № 2. – С. 51–56.
7. Yatsevich, N. V. Yuridicheskij aspekt lichnosti predprinimatel'ya: struktura i sodержanie [Legal aspect of the personality of an entrepreneur: structure and content] / N. V. Yatsevich // Potrebitel'skaya kooperaciya. – 2025. – № 2. – S. 51–56.
8. Яцевич, Н. В. Современные подходы к понятию «предпринимательство» в белорусской науке: обзор научных исследований / Н. В. Яцевич // Веснік Беларускага дзяржаўнага эканамічнага ўніверсітэта. – 2024. – № 4. – С. 15–23.
9. Yatsevich, N. V. Sovremennye podhody k ponyatiyu «predprinimatel'stvo» v belorusskoj nauke: obzor nauchnyh issledovanij [Modern approaches to the concept of “entrepreneurship” in Belarusian science: a review of scientific research] / N. V. Yatsevich // Vesnik Belaruskaga dzyarzhaj'naga ekanamichnaga ŭniversiteta. – 2024. – № 4. – S. 15–23.
10. Кантильон, Р. Эссе о природе торговли в общем плане / Р. Кантильон // Мировая экономическая мысль. Сквозь призму веков: в 5 т. / сопред. науч.-ред. совета Г. Г. Фетисов, А. Г. Худокормов; отв. ред. Г. Г. Фетисов. – М. : Мысль, 2004. – Т. I. : От зари цивилизации до капитализма. – С. 269–278.

11. Cantillon, R. Esse o prirode trgovli v obshchem plane [Essay on the Nature of Trade in General] / R. Cantillon // Mirovaya ekonomicheskaya mysl'. Skvoz' prizmu vekov: v 5 t. / sopred. nauch.-red. Soveta
12. G. G. Fetisov, A. G. Hudokormov; otv. red. G. G. Fetisov. – Moscow : Mysl', 2004. – T. I. : Ot zari civilizacii do kapitalizma. – S. 269–278.
13. Кобяк, О.В. Экономический человек: закономерности формирования мышления и механизмы управления поведением / О.В. Кобяк. – Минск: Право и экономика, 2006. – 215 с.
14. Kobyak, O.V. Ekonomicheskij chelovek: zakonomernosti formirovaniya myshleniya i mekhanizmy upravleniya povedeniem [Economic person: patterns of formation of thinking and mechanisms of behavior management] / O.V. Kobyak. – Minsk: Pravo i ekonomika, 2006. – 215 s.
15. Шумпетер, Й. Теория экономического развития / Й. Шумпетер. – М. : Прогресс, 1982. – 456 с.
16. Schumpeter, J. Teoriya ekonomicheskogo razvitiya [The theory of economic development] / J. Schumpeter. – Moscow : Progress, 1982. – 456 s.
17. Кирцнер, И. Конкуренция и предпринимательство / И. Кирцнер. – М. : ЮНИТИ-ДАНА, 2001. – 239 с.
18. Kirzner, I. Konkurenciya i predprinimatel'stvo [Competition and Entrepreneurship] / I. Kirzner. – Moscow : YUNITI-DANA, 2001. – 239 s.
19. Сэй, Ж.-Б. Трактат по политической экономии / Ж.-Б. Сэй // Мировая экономическая мысль. Сквозь призму веков: в 5 т. / сопред. науч.-ред. совета Г. Г. Фетисов, А. Г. Худокормов; отв. ред. Г. Г. Фетисов. – М. : Мысль, 2004. – Т. I. : От зари цивилизации до капитализма. – С. 397–406.
20. Say, J.-B. Traktat po politicheskoy ekonomii [A Treatise on Political Economy] / J.-B. Say // Mirovaya ekonomicheskaya mysl'. Skvoz' prizmu vekov: v 5 t. / sopred. nauch.-red. soveta G. G. Fetisov, A. G. Hudokormov; otv. red. G. G. Fetisov. – М. : Mysl', 2004. – Т. I. : Ot zari civilizacii do kapitalizma. – S. 397–406.

რუბიო დე ფრანსიას ექსტრაპოლაციის თეორემა გრანდ ლეზეგის სივრცეებში

დალი მახარადზე¹, ალექსანდრე მესხი²

¹ბათუმის შოთა რუსთაველის სახელმწიფო უნივერსიტეტი

²ქუთაისის საერთაშორისო უნივერსიტეტი

dali.makharadze@bsu.edu.ge, alexander.meskhi@kiu.edu.ge

რეზიუმე

ნაშრომში წარმოდგენილია რუბიო დე ფრანსიას ექსტრაპოლაციის თეორემა გრანდ ლეზეგის სივრცეებში. განხილულია ორადწრფივი მაქსიმალური ოპერატორის ასახვის თვისებები კლასიკური ლეზეგის სივრცეებისთვის.

საკვანძო სიტყვები: გრანდ ლეზეგის სივრცე, რუბიო დე ფრანსიას ექსტრაპოლაციის თეორია, შემოსაზღვრულობა, წონიანი უტოლობები.

რუბიო დე ფრანსიას ექსტრაპოლაციის თეორემა ჰარმონიული ანალიზის ერთ-ერთი ძლიერი ინსტრუმენტია. რაც ნიშნავს, რომ თუ მოცემული M ოპერატორი შემოსაზღვრულია წონიან ლეზეგის სივრცეში $L_{\mu}^{p_0}$ რაიმე ფიქსირებული p_0 -სთვის და ყველა μ წონისთვის A_{p_0} კლასიდან, მაშინ M შემოსაზღვრულია ყველა სივრცეში L_{μ}^p სივრცეში, ყოველი p -თვის, $1 < p < \infty$ და ყოველი $\mu \in A_p$ წონისთვის. ექსტრაპოლაციის თეორია შესწავლილია როგორც კლასიკურ ლეზეგის სივრცეებში, ისე სხვადასხვა ფუნქციურ სივრცეებში (იხ. [1],[7]).

შემოსაზღვრულ Ω სიმრავლეზე განსაზღვრული მუდმივიმანკვნილობიანი გრანდ ლეზეგის სივრცეები $L^p(\Omega)$, $1 < p < \infty$, შემოღებული იქნა 1992 წელს ტ. ივანიეცის და ს. სბორდონეს მიერ იაკობიანის ინტეგრებადობის მინიმალური პირობების დადგენის თვალსაზრისით (იხ. [3]). მაშინ, როცა უფრო ზოგადი სივრცე $L^{p,\theta}(\Omega)$ დაკავშირებულია

$$\operatorname{div} A(x, \nabla u) = \mu$$

არაჰომოგენური p -ჰარმონიული განტოლების კვლევასთან [2].

ასეთ სივრცეთა თეორია თანამედროვე ანალიზის ერთ-ერთი ინტენსიურად განვითარებადი მიმართულებაა (იხ. [4]).

განვიხილოთ განზოგადებული გრანდ ლეზეგის სივრცეები $L_{\mu}^{p,\psi(\cdot)}(\Omega)$ μ -წონით Ω სიმრავლეზე (ანუ μ არის ინტეგრებადი ფუნქცია Ω სიმრავლეზე). ნორმა $L_{\mu}^{p,\psi(\cdot)}(\Omega)$ სივრცეში განისაზღვრება შემდეგნაირად:

$$\|f\|_{L_{\mu}^{p,\psi(\cdot)}(\Omega)} = \sup_{0 < \varepsilon < p-1} \left(\frac{q(\varepsilon)}{|\Omega|} \int_{\Omega} |f(x)|^{p-\varepsilon} \mu(x) dx \right)^{\frac{1}{p-\varepsilon}},$$

სადაც $\psi(\cdot)$ არის არაკლებადი ზომადი ფუნქცია $(0, p-1)$ შუალედზე, ისეთი რომ

$$\lim_{x \rightarrow 0} \psi(x) = 0.$$

თუკი $\psi(x) = x^{\theta}$ და $\mu = \text{const}$, სადაც θ დადებითი რიცხვია, მაშინ გვაქვს გრეკოს, ივანიეცის და სბორდონეს $L^{p,\theta}(\Omega)$ კლასი [2]. კერძოდ, თუ $L^{p,\theta}(\Omega)$ სივრცეში $\theta = 1$, მაშინ მივიღებთ ივანიეცის და სბორდონეს $L^p(\Omega)$ სივრცეს.

$L_{\mu}^{p,\psi(\cdot)}(\Omega)$ ბანახის სივრცეა და ადგილი აქვს შემდეგ უწყვეტ ჩადგმებს:

$$L_{\mu}^p(\Omega) \hookrightarrow L_{\mu}^{p,\psi(\cdot)}(\Omega) \hookrightarrow L_{\mu}^{p-\varepsilon}(\Omega), \quad 0 < \varepsilon < p-1,$$

გრანდ ფუნქციური სივრცეების თვისებები შესწავლილია [5] მონოგრაფიაში.

ახლა ვთქვათ, $1 < p < \infty$ და μ არის წონითი ფუნქცია Ω სიმრავლეზე. მაშინ

$$\|f\|_{L_{\mu}^{p, \psi(\cdot)}(\Omega)} = \sup_{0 < \varepsilon \leq p-1} (\psi(\varepsilon))^{\frac{1}{p-\varepsilon}} \|f\|_{L_{\mu}^{p-\varepsilon}(\Omega)} = \sup_{1 < r < p} (\psi(p/r'))^{\frac{r}{p}} \|f\|_{L_{\mu}^{p/r}(\Omega)}, \text{ სადაც } r' = \frac{r}{r-1}.$$

მხედველობაში მივიღებთ რა ამ განმარტებას, განვსაზღვრავთ $\vec{f}$ ვექტორ-ფუნქციის და ვექტორული $\vec{p}$ წონის კლასს $L \prod_{j=1}^m L_{\rho_j}^{p_j, \psi(\cdot)}(\Omega)$ შემდეგნაირად: $\vec{f} \in L \prod_{j=1}^m L_{\rho_j}^{p_j, \psi(\cdot)}(\Omega)$, თუ

$$\begin{aligned} \|\vec{f}\|_{L \prod_{j=1}^m L_{\rho_j}^{p_j, \psi(\cdot)}(\Omega)} &= \sup_{1 < r < p} \left\{ \left(\psi\left(\frac{p}{r}\right) \right)^{\frac{r}{p}} \prod_{j=1}^m \|f_j\|_{L_{\rho_j}^{\frac{p_j}{r}}(\Omega)} \right\} \\ &= \sup_{1 < r < p} \left\{ \prod_{j=1}^m (\varphi(p/r'))^{\frac{r}{p}} \|f_j\|_{L_{\rho_j}^{p_j/r}(\Omega)} \right\} < \infty, \end{aligned}$$

სადაც p განსაზღვრულია შემდეგნაირად:

$$\frac{1}{p} = \sum_{j=1}^m \frac{1}{p_j}. \quad (1)$$

ვთქვათ, $\bar{p} = \min \{p_1, p_2, \dots, p_n\}$, $1 \leq p_1, p_2, \dots, p_m < \infty$. ადვილი შესამოწმებელია, რომ თუ $\psi \in \mathcal{A}_{\bar{p}}$, მაშინ

$$\|\vec{f}\|_{\prod_{j=1}^m L_{\rho_j}^{p_j, \psi(\cdot)}(\Omega)} \leq \|\vec{f}\|_{L \prod_{j=1}^m L_{\rho_j}^{p_j, \psi(\cdot)}(\Omega)},$$

სადაც,

$$\|\vec{f}\|_{\prod_{j=1}^m L_{\rho_j}^{p_j, \theta}(\Omega)} := \prod_{j=1}^m \|f_j\|_{L_{\rho_j}^{p_j, \theta}(\Omega)}.$$

თუ $\psi(x) = x^\theta$, სადაც θ არის დადებითი მუდმივი, მაშინ $L \prod_{j=1}^m L_{\rho_j}^{p_j, \psi(\cdot)}(\Omega)$ სივრცეს განვმარტავთ $L \prod_{j=1}^m L_{\rho_j}^{p_j, \theta}(\Omega)$ სივრცის საშუალებით. კერძოდ, ცხადია, რომ

$$\|\vec{f}\|_{L \prod_{j=1}^m L_{\rho_j}^{p_j, \theta}(\Omega)} \leq \|\vec{f}\|_{\prod_{j=1}^m L_{\rho_j}^{p_j, \theta}(\Omega)}.$$

იმ შემთხვევაში, როცა $m = 1$, მაშინ $L \prod_{j=1}^m L_{\rho_j}^{p_j, \psi(\cdot)}(\Omega)$ სივრცე ემთხვევა $L_{\rho_j}^{p, \psi(\cdot)}(\Omega)$ გრანდ ლეზგის სივრცეს.

ვთქვათ, $1 \leq p_j < \infty$ ყოველი j -თვის $1 \leq j \leq m$ და $0 < p < \infty$, სადაც p განისაზღვრება (1) ტოლობით. ვიტყვი, რომ $\vec{\omega} = (\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_n)$ ეკუთვნის მრავლადწირვ მაკენჭაუპტის $A_{\vec{p}}(X)$ კლასს, თუკი

$$\|\vec{\omega}\|_{A_{\vec{p}}} := \sup_{B \subset \mathbb{R}^n} \left\{ \left(\frac{1}{\mu(B)} \int_B v_{\vec{\omega}}(x) dx \right) \prod_{j=1}^m \left(\frac{1}{\mu(B)} \int_B \omega_j^{1-p'}(x) dx \right)^{p/p_j'} \right\} < \infty,$$

სადაც ზედა საზღვარი აღებულია ყოველი B -თვის $\mathbb{R}^n$ -დან.

როცა $p_j = 1$, მაშინ $\left(\frac{1}{\mu(B)} \int_B \omega_j^{1-p'}(x) dx \right)^{p/p_j'}$ გამოსახულების ნაცვლად განიხილება $\left(\inf_B \omega_j \right)^{-1}$. ხოლო იმ შემთხვევაში, როცა $m = 1$, ეს კლასი არის მაკენჭაუპტის ცნობილი A_p კლასი.

ახლა ვთქვათ, $A_{\vec{p}}(X)$ კლასის $\vec{s} = (s_1, s_2, \dots, s_n)$ -თვის, სადაც $\frac{1}{s} = \sum_{i=1}^m \frac{1}{s_i}$, და r მუდმივისთვის, $1 \leq r < \infty$, შემოვიტანოთ აღნიშვნები:

$$\overrightarrow{F^{(s)}} = \left(\left(\sum_i (f_1^i)^{\frac{1}{s_1}} \right)^{s_1}, \dots, \left(\sum_i (f_m^i)^{\frac{1}{s_m}} \right)^{s_m} \right), \quad (2)$$

$$\overrightarrow{F^{(r)}} = \left(\left(\sum_i (f_1^i)^{\frac{1}{r}} \right)^r, \dots, \left(\sum_i (f_m^i)^{\frac{1}{r}} \right)^r \right). \quad (3)$$

რუბიო დე ფრანსიას ექსტრაპოლაცია კლასიკური ლებეგის სივრცეებისთვის განხილულია ნაშრომში [6]. სამართლიანია შემდეგი თეორემა:

თეორემა 1. ვთქვათ, რომ $\mathcal{F}$ იყოს R_n -ზე განსაზღვრულ არაუარყოფით ფუნქციათა ერთობლიობა. დავუშვათ, მაჩვენებლები $\vec{p} = (p_1, p_2, \dots, p_m)$, $1 \leq p_1, p_2, \dots, p_m < \infty$ არიან ისეთი, რომ მოცემული $\vec{\omega} = (\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_n) \in A_{\vec{p}}$ -თვის სრულდება უტოლობა:

$$\|f\|_{L_{\vec{\omega}}^p(R_n)} \leq C \left([\vec{\omega}]_{A_{\vec{p}}} \right) \prod_{j=1}^m \|f_j\|_{L_{\omega_j}^{p_j}(R_n)},$$

ყოველი $(f, f_1, f_2, \dots, f_m) \in \mathcal{F}$, სადაც ასახვა: $\cdot \mapsto C(\cdot)$ არის არაკლებადი და ω

განისაზღვრება ტოლობით: $\omega = \prod_{j=1}^m \omega_j^{\frac{p_j}{p}}$. მაშინ ყოველი შემოსაზღვრული $\Omega \subset R^n$ -სთვის, ყოველი $\vec{q} = (q_1, q_2, \dots, q_m)$, $1 \leq q_1, q_2, \dots, q_m \leq \infty$, მაჩვენებლისთვის, ყოველი $\vec{v} \in A_{\vec{q}}(R^n)$ -სთვის და რაიმე $\psi(\cdot) \in A^q$ -სთვის, სრულდება უტოლობა:

$$\|f\|_{L_{\vec{v}}^{q, \psi(\cdot)}(\Omega)} \leq c \|\vec{f}\|_{L \prod_{j=1}^m \|f_j\|_{L_{v_j}^{q_j, \psi(\cdot)}(\Omega)}},$$

ყოველი $(f, f_1, f_2, \dots, f_m) \in \mathcal{F}$ -თვის, სადაც q და v განისაზღვრება, შესაბამისად, ტოლობებით:

$$\frac{1}{q} = \sum_{j=1}^m \frac{1}{q_j}, \quad v = \prod_{j=1}^m v_j^{\frac{q}{q_j}}$$

გარდა ამისა, ყოველი $\vec{s} = (s_1, s_2, \dots, s_m)$, $1 \leq s_1, s_2, \dots, s_m \leq \infty$, მაჩვენებლისთვის და ყოველი $\{(f^j, f_1^j, f_2^j, \dots, f_m^j)\} \subset \mathcal{F}$ მიმდევრობისთვის ადგილი აქვს უტოლობას:

$$\left\| \left(\sum_j (f^j)^s \right)^{\frac{1}{s}} \right\|_{L_{\vec{v}}^{q, \psi(\cdot)}(\Omega)} \leq C_0 \left\| \overrightarrow{F^{(s)}} \right\|_{L \prod_{j=1}^m L_{v_j}^{q_j, \psi(\cdot)}(\Omega)},$$

სადაც s განსაზღვრულია (1) ტოლობით, ხოლო $\overrightarrow{F^{(s)}}$ კი (2) ტოლობით.

ვთქვათ, მოცემული გვაქვს f და g ლოკალურად ინტეგრებადი ფუნქციები R^n -ზე. განვიხილოთ ორადწრფივი მაქსიმალური ოპერატორი:

$$\mathcal{M}(f, g)(x) = \sup_{Q \ni x} \left(\frac{1}{|Q|} \int_Q |f(y)| dy \right) \left(\frac{1}{|Q|} \int_Q |g(y)| dy \right),$$

სადაც სუპრემუმი აღებულია საკოორდინატო ღერძების პარალელური გვერდების მქონე კუბის მიმართ.

მართებულია შემდეგი თეორემა:

თეორემა 2. ვთქვათ, $m = 2$ და Ω შემოსაზღვრულია R^n -ზე, მაშინ ყოველი $\vec{p} = (p_1, p_2)$ და $\vec{s} = (s_1, s_2)$ -თვის, $1 < p_1, p_2, s_1, s_2 < \infty$, ყოველი $\vec{\omega} = (\omega_1, \omega_2) \in A_{\vec{p}}$ -თვის და ყოველი $\psi(\cdot) \in A^p$ -თვის ადგილი აქვს უტოლობას:

$$\left\| \left(\sum_j \left(\mathcal{M}(f_1^j, f_2^j) \right)^s \right)^{\frac{1}{s}} \right\|_{L_{\vec{\omega}}^{p, \psi(\cdot)}(\Omega)} \leq \tilde{C} \left\| \overrightarrow{F^{(s)}} \right\|_{L \prod_{j=1}^2 L_{\omega_j}^{p_j, \psi(\cdot)}(\Omega)},$$

ყოველი f_i^j არაუარყოფითი ფუნქციისთვის Ω კომპაქტური მატარებლით.

References:

- [1] D. V. Cruz-Uribe, J. M. Martell, and C. Pérez, *Weights, extrapolation and the theory of Rubio de Francia*, volume 215 of *Oper. Theory: Adv. Appl.* Basel: Birkhäuser, 2011.
- [2] L. Greco, T. Iwaniec, and C. Sbordone. Inverting the p -harmonic operator. *Manuscr. Math.*, 92(2)(1997), 249–258.
- [3] T. Iwaniec and C. Sbordone, On the integrability of the Jacobian under minimal hypotheses. *Arch. Ration. Mech. Anal.*, 119(2)(1992), 129–143.
- [4] V. Kokilashvili, A. Meskhi, H. Rafeiro, and S. Samko, *Integral operators in non-standard function spaces, Volume 3: Advances in Grand Function Spaces*, Birkhäuser/Springer, Cham, 2024.
- [5] V. Kokilashvili, M. Mastilo, and A. Meskhi. Multilinear integral operators in weighted grand Lebesgue spaces. *Fract. Calc. Appl. Anal.*, 19(3) (2016), 696–724.
- [6] K. Li, J. M. Martell, Sh. Ombrosi, Extrapolation for multilinear Muckenhoupt classes and applications. *Adv. Math.* 373 (2020), 107286, 43 pp.
- [7] J. L. Rubio de Francia, Factorization theory and A_p weights. *Am. J. Math.*, 106(1984), 533–547.

Rubio de Francia's Extrapolation Theorem in Grand Lebesgue Spaces

Dali Makharadze¹, Alexander Meskhi²

¹Batumi Shota Rustaveli State University

²Kutaisi International University

dali.makharadze@bsu.edu.ge, alexander.meskhi@kiu.edu.ge

Abstract

In this note, we present multilinear Rubio de Francia's extrapolation theorem in grand Lebesgue spaces. The mapping properties of bilinear maximal operators in harmonic analysis are also discussed.

Key words and phrases: Grand Lebesgue space, Rubio de Francia's extrapolation theory, boundedness, weighted inequalities.

Identification of One Class of Closed-Loop Nonlinear Dynamic Systems in the Frequency Domain

Besarion Shanshiashvili, Nugzar Kavlashvili

Georgian Technical University

b.shanshiashvili@gtu.ge, nkavlash@gmail.com

Abstract

The problems of structure and parameter identification of nonlinear dynamic systems operating with positive feedback in the frequency domain are considered. It is assumed that the input to the investigation system is a harmonic signal. The identification problems are considered on a set of block-oriented models, the elements of which are Hammerstein and Wiener models with unitary feedback. Taking into account the peculiarities of such systems functioning in manufacturing, the equations describing the models are reduced to ordinary nonlinear differential equations, known as the Riccati equation. The developed method for identifying the model structure is based on observations of the system's input and output variables in a steady state. The solution of the parameter identification problem is carried out by the method of least squares. The developed identification method is investigated in terms of accuracy.

Keywords: identification, structure, parameter, nonlinear, feedback

1. Introduction

Most processes that occur in industrial systems are nonlinear in nature, with characteristics that create certain difficulties in studying and controlling the systems.

Special difficulties arise when investigating processes in nonlinear systems operating with positive feedback. Such systems are characterized by maximum utilization of raw materials and relatively high efficiency [1]. They are widely used in manufacturing, particularly in the chemical, metallurgical, mining, pulp and paper industries, as well as in ecology. Positive feedback systems are characterized by the fact that a portion of the input raw material that, while passing through the working part of the facility, remains unprocessed to the required state, returns to the system entry point for reprocessing [2].

When automating any manufacturing process, the selection of the type of automatic control system depends significantly on the amount of information about the state of the system, which must be formalized in the form of a mathematical model. System processes can be formalized using system identification methods. In this case, it is necessary to solve various problems depending on a priori information about the system [3]. The construction of an adequate model of the system significantly depends on the successful solution of the problems of structure and parameter identification.

Usually, the model structure is determined based on the use of physical laws of the processes taking place in the system, or based on existing a priori information [3]. However in this case often results in a high-dimensional model structure, the use of which is not expedient for solving practical problems.

However, it should be noted that the problem of determining the model structure was later considered based on observations of the input-output signals of the system (e.g. [4-6]). As for the

problem of parametric identification, its solution is usually based on experimental data according to the classical scheme of system identification [3].

When modeling practical manufacturing processes with nonlinear models, block-oriented models are usually used, which are composed of various modifications of the Hammerstein and Wiener models.

In the representation of manufacturing systems with block-oriented models, the main results in the field of structure and parameter identification have been obtained for open systems (e.g. [7-14]). As for the identification of feedback systems, successes in this area are relatively small due to the peculiarities of their functioning (e.g. [15-18]).

This paper discusses the problems of structure and parameter identification of nonlinear systems with feedback in the frequency domain under the system input harmonic influence. These problems are considered for a subset of continuous block-oriented models, the elements of which are Hammerstein and Wiener models with unit feedback. The same experimental data are used to estimate the model structure and dynamic parameters.

2. Mathematical Equations of Models

The identification problems of closed-loop nonlinear dynamic systems are considered on the set of continuous block-oriented models with the following a priori known elements:

$$L = \{s_i | s = 1, 2\}, \quad (1)$$

where s_1 - Hammerstein model with unit feedback, s_2 - Wiener model with unit feedback

The following equation describes the Hammerstein model with unit feedback:

$$y(t) = W(p)f[u(t) + y(t)], \quad (2)$$

and the equation describing the Wiener model with unit feedback has the following form:

$$y(t) = W^{-1}(p)f^{-1}[y(t)] - u(t), \quad (3)$$

where $W(p)$ is the transfer function of the linear dynamic element in the operational form, i.e., $p \equiv d/dt$, $f(\square)$ - is a polynomial function.

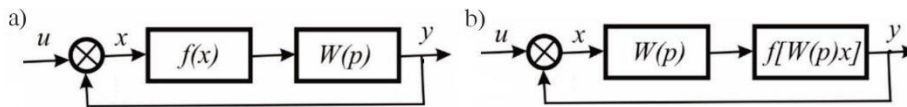


Fig. 1. The block-oriented models with feedback: a) Hammerstein model with unit feedback, b) Wiener model with unit feedback.

Based on the information obtained from the characteristics of manufacturing systems operating with positive feedback [2], it is assumed that the nonlinear static element, which is part of block-oriented models with positive feedback, is described by a second-degree polynomial function:

$$f(x) = c_1x + c_2x^2 \quad (4)$$

and the transfer function of the linear dynamic element has the following form:

$$W(p) = \frac{1}{Tp + 1}, \quad (5)$$

where c_1 , c_2 - constant coefficients, T - time constant, and the free member is absent in expression (4), because there is no signal on the output of the system with feedback at the zero-input signal.

If we take into account expressions (4) and (5) in equations (2) and (3), as a result of a number of transformations, we obtain that the equations describe the Hammerstein model:

$$\dot{x}(t) = -\frac{1-c_1}{T}x(t) + \frac{c_2}{T}x^2(t) + \dot{u}(t) + \frac{1}{T}u(t), \quad (6)$$

$$y(t) = x(t) - u(t), \quad (7)$$

and the Wiener model - by the equations:

$$\frac{dv}{dt} = -\frac{1}{T}v + \frac{c_2}{T}v^2 + \frac{1}{T}u(t) + \frac{1}{T}(\beta - c_2\beta^2), \quad (8)$$

$$y = c_2v^2 - c_2\beta^2, \quad (9)$$

where $\beta = c_1/2c_2$.

3. Mathematical Expressions of Output Forced Oscillations

To solve the problems of structure and parameter identification of closed-loop systems in the frequency domain, the following type of harmonic signal is supplied to the input of the research system:

$$u(t) = A \sin \omega t + B. \quad (10)$$

If the system input signal is zero, no signal will be received at the system output. Respectively, we assume that $B > A$.

The solution of the structure and parameter identification problems requires solving of the Riccati differential equations (6) and (8), taking into account (2) and inserting the obtained solutions into equations (7) and (9).

In addition, it is necessary to consider the stability conditions of the steady motion at the output of closed-loop nonlinear systems.

In the steady state for the nonlinear manufacturing systems functioning with positive feedback, it was obtained [2], that for the system stability, the realization of the following conditions is sufficient:

$$0 < c_1 < 1, \quad 0 < c_2, \quad \bar{u} < \frac{1-c_1}{2c_2}, \quad (11)$$

where $\bar{u}$ - the steady state value of the input signal.

The analysis of conditions (11) allows us to conclude that $c_2 \ll c_1$ and c_2 can be considered as a small parameter, and the small parameter method can be used to solve Riccati equations (6) and (8).

So the solution of (6) can be found in the form of the series:

$$x(t) = \sum_{n=0}^{\infty} \mu^n x_n(t), \quad (12)$$

where μ - a small parameter, and we can assume that $\mu = c_2$.

If we take into account the smallness of c_2 and in (12) we do not consider the small values of the second and higher orders; we will have two terms in the series (12). In a similar series form, the solution of equation (8) can also be found.

After inserting the solutions of equations (6) and (8) obtained in this way into equations (7) and (9), we obtain, as a result of a series of calculations, that the forced oscillation obtained in the steady state regime on the output of the Hammerstein model is described by the expression:

$$\begin{aligned}
 y(t) = & \frac{c_1(1-c_1)^2 B + c_2 B^2}{(1-c_1)^3} + \frac{c_2 A^2 (1 + \omega^2 T^2)}{2(1-c_1)[(1-c_1)^2 + \omega^2 T^2]} - A \sin \omega t + \frac{A \sqrt{(1 + \omega^2 T^2)}}{\sqrt{(1-c_1)^2 + \omega^2 T^2}} \sin(\omega t - \varphi_1) + \\
 & + \frac{2c_2 AB \sqrt{(1 + \omega^2 T^2)}}{(1-c_1)[(1-c_1)^2 + \omega^2 T^2] \sqrt{(1-c_1)^2 + \omega^2 T^2}} \sin(\omega t - \varphi_1 - \varphi_2) - \\
 & - \frac{c_2 A^2 (1 + \omega^2 T^2)}{2[(1-c_1)^2 + \omega^2 T^2] \sqrt{(1-c_1)^2 + 4\omega^2 T^2}} \cos(2\omega t - 2\varphi_1 - \varphi_3), \quad (13)
 \end{aligned}$$

And at the output of the Wiener model:

$$\begin{aligned}
 y = & c_2 B_1^2 - c_2 \beta^2 + \frac{c_2 A^2}{2(1 + \omega^2 T^2)} + \frac{2c_2 AB_1}{1 + \omega^2 T^2} \sin \omega t + \frac{2c_2 AB_1 \omega T}{1 + \omega^2 T^2} \cos \omega t - \frac{2c_2 A^2 \omega T}{2(1 + \omega^2 T^2)^2} \sin 2\omega t - \\
 & - \frac{c_2 A^2 (1 - \omega^2 T^2)}{2(1 + \omega^2 T^2)^2} \cos 2\omega t, \quad (14)
 \end{aligned}$$

where $\varphi_1 = \arctg \frac{c_1 \omega T}{1 - c_1 + \omega^2 T^2}$, $\varphi_2 = \arctg \frac{\omega T}{1 - c_1}$, $\varphi_3 = \arctg \frac{2\omega T}{1 - c_1}$, $B_1 = B + \beta - c_2 \beta^2$.

4. Structure identification

The problem of structure identification of closed-loop nonlinear systems was considered earlier on the set of continuous block-oriented models with the feedback at system input periodic influences [15-16]).

By analyzing the forced oscillation expressions at the output of the Hammerstein and Wiener models and taking into account that, for real production systems, in most cases, the dynamic parameter $T > 1$, the criterion for choosing the model structure was determined as follows:

- Hammerstein model with unit feedback - the constant component of the output periodic signal decreases when the period of the input periodic signal increases;
- Wiener models with unit feedback - the constant component of the input periodic signal increases when the period of the input periodic signal increases.

5. Parameter Identificación

5.1. Identification of static parameters

Estimates of static parameters were previously obtained [15] by the least squares method in the stationary mode:

$$\hat{c}_1 = 1 - \frac{\left(\sum_{i=1}^n x_i^4 \right) \left(\sum_{i=1}^n u_i x_i \right) + \left(\sum_{i=1}^n x_i^3 \right) \left(\sum_{i=1}^n u_i x_i^2 \right)}{\left(\sum_{i=1}^n x_i^2 \right) \left(\sum_{i=1}^n x_i^4 \right) - \left(\sum_{i=1}^n x_i^3 \right)^2}, \quad \hat{c}_2 = \frac{\left(\sum_{i=1}^n x_i^2 \right) \left(\sum_{i=1}^n u_i x_i^2 \right) + \left(\sum_{i=1}^n x_i^3 \right) \left(\sum_{i=1}^n u_i x_i \right)}{\left(\sum_{i=1}^n x_i^2 \right) \left(\sum_{i=1}^n x_i^4 \right) - \left(\sum_{i=1}^n x_i^3 \right)^2}, \quad (15)$$

where - $u_i, y_i (i = 1, 2, \dots, n)$ are the values of the system's input and output variables at the moment $t_i (i = 1, 2, \dots, n)$ in the steady-state regime.

5.2. Identification of dynamic parameters

Applying the Fourier approximation [19] to the model's output forced oscillation in the steady-state regime allows us to determine the estimates of the Fourier coefficients $\hat{a}_0/2, a_k, b_k (k = 1, 2)$.

If we equate the theoretical value of the Fourier coefficients from the expressions (13) and (14) with their estimates obtained through the Fourier approximation, we get equations, by means of which estimates of the dynamic characteristics of the models are obtained using the method of least squares.

Estimates of the dynamic parameter of the Hammerstein model have the following form:

$$\hat{T} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n M_i N_i \omega_i^2}{\sum_{i=1}^n N_i^2 \omega_i^4}}, \quad (16)$$

where

$$M_i = (1 - \hat{c}_1)^2 [\hat{c}_2 A^2 + 2\hat{c}_1 (1 - \hat{c}_1)^2 B - \hat{a}_{0i} (1 - \hat{c}_1)^3], \quad N_i = [\hat{a}_{0i} (1 - \hat{c}_1)^3 - (\hat{c}_2 A^2 + 2\hat{c}_1 B)(1 - \hat{c}_1)^2 + 2\hat{c}_2 B^2].$$

For the Wiener model, the T parameter estimates have the form:

$$\hat{T} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\hat{a}_{0i} - \hat{c}_2 A^2 - 2\hat{c}_2 B_1^2 + 2\hat{c}_2 \hat{\beta}^2)}{\sum_{i=1}^n (2\hat{c}_2 B_1^2 - 2\hat{c}_2 \hat{\beta}^2 - \hat{a}_{0i}) \omega_i^4}}, \quad (17)$$

where $\hat{a}_{0i}$ ($i=1, 2, \dots, n$) - estimates of the Fourier coefficient $\hat{a}_0$, $\hat{\beta}$ - estimate of β coefficient.

An estimate of the parameter T can also be calculated from the values of the Fourier coefficients a_k , b_k ($k=1, 2$) and then the obtained results can be compared with each other.

6. Conclusion.

In this paper, the structure and parameter identification problems of nonlinear systems operating with positive feedback are considered in their representation by the Hammerstein and Wiener models with unit feedback. When composing the corresponding differential equation of the model, the features of the operation of manufacturing processes with positive feedback are taken into account, and the characteristics of such systems are used. When forming the input harmonic signals for identification in the frequency domain, it is considered that, due to the peculiarities of the operation of systems with positive feedback, the output signal cannot be obtained at a zero-input signal. When conducting active experiments in these systems, it is necessary to fulfil the conditions that ensure the stability of each motion obtained at the output of the system.

The developed method allows the determination of the structure of the system model in the frequency domain in a steady state. The estimation of the parameters is carried out in two stages. In the first stage, the static parameters are estimated in the stationary mode, and in the second stage, the estimates of the static parameters are used to estimate the dynamic parameters in the steady state. The parameter estimates are obtained using the least squares method.

The reliability of the obtained results in manufacturing conditions depends on the accuracy of the measurement of the output signals of the system and the mathematical processing of the experimental data.

References:

1. Nagiev M.F. Theoretical foundation of recirculation processes. Academy of Sciences of the USSR, Moscow, 1962. (in Russian).
2. Arefiev B.A. Inertial processes optimization. Mashinostroenie, Leningrad, 1969. (in Russian).

3. Eykhoff, P. *System identification. parameter and state estimation*. John Wiley and Sons Ltd, London. 1974.
4. Shanshiashvili B.G. On the selection of the model structure under the nonlinear dynamic system identification with a closed cycle. 8th IFAC/IFORS Symposium on Identification and System Parameter Estimation. Preprints. Oxford, Pergamon Press, vol. 2, 1988, pp. 933-938.
5. Haber R., Unbehauen H. Structure identification of nonlinear dynamic systems – a survey on input/output approaches. *Automatica*. 26(4), 1990, pp. 651-667.
6. Shanshiashvili B.G. Frequency method for identification of a model structure of nonlinear continuous-time systems. Preprints of the 9 th IFAC/IFORS Symposium on Identification and System Parameter Estimation, vol. 1, Budapest, 1991, pp. 640 – 643.
7. Haber, R. and Unbehauen, H. Structure identification of nonlinear dynamic systems – a survey on input/output approaches. *Automatica*, vol. 26, no. 4, 1990, pp. 651-677.
8. Giri, F., Bai, E-W. (eds). *Block-oriented nonlinear system identification*. Springer, Berlin, 2010.
9. Shanshiashvili B., Prangishvili A. and Tsveraidze Z. Structure identification of continuous-time block-oriented nonlinear systems in the frequency domain. *IFAC-PapersOnLine*, vol. 52, Issue 13, 2019, pp. 463-468.
10. Shanshiashvili B., Rigishvili T. parameter identification of block-oriented nonlinear systems in the frequency domain. *IFAC PapersOnLine*, vol. 53, issue 2, 2020, pp. 10695–10700.
11. Liu X., Wang C., Dai W. Probability-Based identification of Hammerstein systems with asymmetric noise characteristics. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, vol. 73, 2024, pp.1-11.
12. Jing Sh., Pan T., Zhu Q. [Identification of Wiener systems based on the variable forgetting factor multi-error stochastic gradient and the key term separation](#). *International Journal of Adaptive Control and Signal Processing*, vol. 35, issue 12, 2021, pp. 2537-2549.
13. [Brouri A.](#) Wiener–Hammerstein nonlinear system identification using spectral analysis. *International Journal of Robust and Nonlinear Control*, [2022](#), 32 (10): 6184-6204.
14. Brouri A., El Mansouri F.Z., F.Z. Chaoui F.Z., [Abdelaali C.](#), Giri F. Identification of Hammerstein-Wiener model with discontinuous input nonlinearity. *Science China Information Sciences*, vol. 66, 2023, pp.1-15.
15. Salukvadze M., Shanshiashvili B. Identification of nonlinear continuous dynamic systems with closed cycle. *International Journal of Information Technology & Decision Making*, vol. 12, no. 2, 2013, pp. 179-199.
16. Prangishvili A., Shanshiashvili B., Tsveraidze Z. Identification of nonlinear dynamic systems with feedback of manufacturing processes. *ScienceDirect. IFAC-PapersOnLine*, vol. 49, issue 12, 2016, pp. 580-585.
17. Burghi T., Schoukens M., Sepulchre R. Feedback for nonlinear system identification. *18th European Control Conference (ECC)*, 2019, pp. 1344-1349.
18. Shakib M.F., Toth R., Pogromsky A.Y., Pavlov A., van de Wouw N. state-space kernelized closed-loop identification of nonlinear systems. Preprints of the 21st IFAC World Congress (Virtual) Berlin, 2020, pp. 1148-1153.
19. Hamming R. W. *Numerical methods for scientists and engineers*. Dover Publications Inc., New York, 1987.

ერთი კლასის უკუკავშირის არაწრფივი დინამიკური სისტემების იდენტიფიკაცია სიხშირულ არეში

ბესარიონ შანშიაშვილი, ნუგზარ ყავლაშვილი

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი,
b.shanshiashvili@gtu.ge, nkavlash@gmail.com

რეზიუმე

განხილულია სიხშირულ არეში დადებითი უკუკავშირით მომუშავე არაწრფივი დინამიკური სისტემების სტრუქტურისა და პარამეტრის იდენტიფიკაციის ამოცანები. იგულისხმება, რომ საკვლევ სისტემაში შემავალი ზემოქმედება ჰარმონიული სიგნალია. იდენტიფიკაციის ამოცანები განიხილება ბლოკურად ორიენტირებული მოდელების სიმრავლეზე, რომელთა ელემენტებია ჰამერშტეინისა და ვინერის მოდელები ერთეულოვანი უკუკავშირით. ასეთი სისტემების წარმოებაში ფუნქციონირების თავისებურებების გათვალისწინებით, მოდელების აღმწერი განტოლებები დაიყვანება ჩვეულებრივ არაწრფივ დიფერენციალურ განტოლებებშიც ცნობილია როგორც რიკატის განტოლება. მოდელის სტრუქტურის იდენტიფიკაციის შემუშავებული მეთოდი ეფუძნება სისტემის შემავალ და გამომავალ ცვლადებზე დაკვირვებას დამყარებულ მდგომარეობაში. პარამეტრული იდენტიფიკაციის ამოცანის ამოხსნა ხორციელდება უმცირესი კვადრატების მეთოდით. შემუშავებული იდენტიფიკაციის მეთოდი გამოკვლეულია სიზუსტის თვალსაზრისით.

საკვანძო სიტყვები: იდენტიფიკაცია, სტრუქტურა, პარამეტრი, არაწრფივი, უკუკავშირი.

Generated Sets of the Complete Semigroup Binary Relations Defined by Semilattices of the Class $\Sigma_6(X, 5)$

Nino Tsinaridze, Giuli Tavdgiridze, Omar Givradze

Batumi Shota Rustaveli State University

n.tsinaridze@bsu.edu.ge, g.tavdgiridze@bsu.edu.ge, omar.givradze@bsu.edu.ge

ABSTRACT. In this article, we study generated sets of the complete semigroups binary relations defined by X – semilattices unions of the class $\Sigma_6(X, 5)$.

Key words: Semigroup, semilattice, binary relation.

1. Introduction.

Let X be an arbitrary nonempty set, D is an X – semilattice of unions which closed with respect to the set-theoretic union of elements from D , f be an arbitrary mapping of the set X in the set D . To each mapping f we put into correspondence a binary relation α_f on the set X that satisfies the condition $\alpha_f = \bigcup_{x \in X} (\{x\} \times f(x))$. The set of all such α_f ($f: X \rightarrow D$) is denoted by $B_X(D)$. It is easy to prove that $B_X(D)$ is a semigroup with respect to the operation of multiplication of binary relations, which is called a complete semigroup of binary relations defined by an X – semilattice of unions D .

We denote by $\emptyset$ an empty binary relation or an empty subset of the set X . The condition $(x, y) \in \alpha$ will be written in the form $x\alpha y$. Further, let $x, y \in X$, $Y \subseteq X$, $\alpha \in B_X(D)$, $\tilde{D} = \bigcup_{Y \in D} Y$ and $T \in D$. We denote by the symbols $y\alpha$, $Y\alpha$, $V(D, \alpha)$, X^* and $V(X^*, \alpha)$ the following sets:

$$y\alpha = \{x \in X \mid y\alpha x\}, Y\alpha = \bigcup_{y \in Y} y\alpha, V(D, \alpha) = \{Y\alpha \mid Y \in D\}, X^* = \{Y \mid \emptyset \neq Y \subseteq X\},$$

$$V(X^*, \alpha) = \{Y\alpha \mid \emptyset \neq Y \subseteq X\}, D_T = \{Z \in D \mid T \subseteq Z\}, Y_T^\alpha = \{y \in X \mid y\alpha = T\}.$$

Definition 1. We say that an element α of the semigroup $B_X(D)$ is external if $\alpha \neq \delta \circ \beta$ for all $\delta, \beta \in B_X(D) \setminus \{\alpha\}$ (see [1], Definition 1.15.1).

It is well known, that if B is all external elements of the semigroup $B_X(D)$ and B' be any generated set for the $B_X(D)$, then $B \subseteq B'$ (see [1], Lemma 1.15.1).

2. Related Work.

2. Let $\Sigma_6(X, 5)$ be a class of all X – semilattices of unions whose every element is isomorphic to an X – semilattice of unions $D = \{Z_4, Z_3, Z_2, Z_1, \tilde{D}\}$, which satisfies the condition:

$$Z_4 \subset Z_1 \subset \tilde{D}, Z_3 \subset Z_1 \subset \tilde{D}, Z_2 \subset \tilde{D}, Z_4 \setminus Z_3 \neq \emptyset, Z_3 \setminus Z_4 \neq \emptyset, Z_2 \setminus Z_1 \neq \emptyset, Z_1 \setminus Z_2 \neq \emptyset, Z_4 \cup Z_3 = Z_1, Z_4 \cup Z_2 = Z_1 \cup Z_2 = Z_1 \cup Z_2 = \tilde{D}.$$

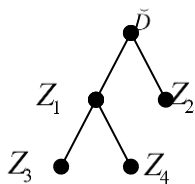


Fig. 1

(see Fig. 1).

It is easy to see that $\tilde{D} = \{Z_4, Z_3, Z_2\}$ is irreducible generating set of the semilattice D .

Let $C(D) = \{P_0, P_1, P_2, P_3, P_4\}$ is a family of sets, where P_0, P_1, P_2, P_3, P_4 are pairwise disjoint subsets of the set X and $\varphi = \begin{pmatrix} \tilde{D} & Z_1 & Z_2 & Z_3 & Z_4 \\ P_0 & P_1 & P_2 & P_3 & P_4 \end{pmatrix}$ is a mapping of the semilattice D onto the family of sets $C(D)$. Then the formal equalities of the semilattice D has a form:

$$\begin{aligned} \tilde{D} &= P_0 \cup P_1 \cup P_2 \cup P_3 \cup P_4, \\ Z_1 &= P_0 \cup P_2 \cup P_3 \cup P_4, \\ Z_2 &= P_0 \cup P_1 \cup P_3 \cup P_4, \\ Z_3 &= P_0 \cup P_2 \cup P_4, \\ Z_4 &= P_0 \cup P_2 \cup P_3. \end{aligned} \quad (1)$$

here the elements P_4, P_3, P_2, P_1 are basis sources, the element P_0 are sources of completeness of the semilattice D . Therefore $|X| \geq 4$ since $|P_4| \geq 1, |P_3| \geq 1, |P_2| \geq 1, |P_1| \geq 1$ (see [1], chapter 11).

From the formal equalities of the semilattice D immediately follows, that:

$$\begin{aligned} P_4 &= Z_3 \setminus Z_4, P_3 = Z_4 \setminus Z_3, P_3 = Z_1 \setminus Z_3, \\ P_2 &= Z_1 \setminus Z_2, P_1 = Z_2 \setminus Z_1, P_0 = Z_4 \cap Z_3 \cap Z_2. \end{aligned} \quad (2)$$

In the sequel, by symbol $\Sigma_{6,0}(X, 5)$ we denoted all semilattices $D = \{Z_4, Z_3, Z_2, Z_1, \tilde{D}\}$ of the class $\Sigma_6(X, 5)$ for which $Z_4 \cap Z_3 \cap Z_2 \neq \emptyset$. Of the last inequality from the formal equalities (1) of a semilattice D follows that $Z_4 \cap Z_3 \cap Z_2 = P_0 \neq \emptyset$, i.e. $|X| \geq 5$ since $P_4 \neq \emptyset, P_3 \neq \emptyset, P_2 \neq \emptyset, P_1 \neq \emptyset, P_0 \neq \emptyset$.

Let $D \in \Sigma_{6,0}(X, 5)$. By symbols A_4, A_3, A_2 and A_1 we denoted the following sets:

$$\begin{aligned} A_4 &= \{\{Z_4, Z_3, Z_1, \tilde{D}\}, \{Z_4, Z_2, Z_1, \tilde{D}\}, \{Z_3, Z_2, Z_1, \tilde{D}\}\}, \\ A_3 &= \{\{Z_4, Z_3, Z_1\}, \{Z_4, Z_2, \tilde{D}\}, \{Z_3, Z_2, \tilde{D}\}, \{Z_4, Z_1, \tilde{D}\}, \{Z_3, Z_1, \tilde{D}\}, \{Z_2, Z_1, \tilde{D}\}\}, \\ A_2 &= \{\{Z_4, Z_1\}, \{Z_3, Z_1\}, \{Z_4, \tilde{D}\}, \{Z_3, \tilde{D}\}, \{Z_1, \tilde{D}\}, \{Z_2, \tilde{D}\}\}, \\ A_1 &= \{\{Z_4\}, \{Z_3\}, \{Z_2\}, \{Z_1\}, \{\tilde{D}\}\}. \end{aligned}$$

Lemma 2.1. Let $D \in \Sigma_{6,0}(X, 5)$. $\alpha = \delta \circ \beta$ for some $\alpha, \delta, \beta \in B_X(D)$. Then the following statements are true:

- a) Let $T, T' \in \{Z_4, Z_3, Z_2\}$, $T \neq T'$. if $T, T' \in V(D, \alpha)$, then α is external element of the semigroup $B_X(D)$;
- b) If $Z_2, Z_1 \in V(D, \alpha)$, then α is external element of the semigroup $B_X(D)$.

Let $D \in \Sigma_{6,0}(X, 5)$. By symbols $A_0, B(A_0)$ and B_0 we denoted the following sets:

$$\begin{aligned} A_0 &= \{\{Z_4, Z_3, Z_1, \tilde{D}\}, \{Z_4, Z_2, Z_1, \tilde{D}\}, \{Z_3, Z_2, Z_1, \tilde{D}\}, \{Z_4, Z_3, Z_1\}, \{Z_4, Z_2, \tilde{D}\}, \{Z_3, Z_2, \tilde{D}\}, \{Z_2, Z_1, \tilde{D}\}\}, \\ B(A_0) &= \{\alpha \in B_X(D) \mid V(X^*, \alpha) \in A_0\}; B_0 = \{\alpha \in B_X(D) \mid V(X^*, \alpha) = D\}. \end{aligned}$$

Remark, that the of the sets B_0 and $B(A_0)$ are external elements for the semigroup $B_X(D)$.

Lemma 2.2. Let $D \in \Sigma_{6,0}(X, 5)$. Then the following statements are true:

- a) if quasinormal representation of a binary relation α has a form

$$\alpha = (Y_4^\alpha \times Z_4) \cup (Y_1^\alpha \times Z_1) \cup (Y_0^\alpha \times \tilde{D}),$$

where $Y_4^\alpha, Y_1^\alpha, Y_0^\alpha \notin \{\emptyset\}$, then α is generating by elements of the elements of set $B(A_0)$;

- b) if quasinormal representation of a binary relation α has a form

$$\alpha = (Y_3^\alpha \times Z_3) \cup (Y_1^\alpha \times Z_1) \cup (Y_0^\alpha \times \tilde{D}),$$

where $Y_3^\alpha, Y_1^\alpha, Y_0^\alpha \notin \{\emptyset\}$, then α is generating by elements of the elements of set $B(A_0)$;

Lemma 2.3. Let $D \in \Sigma_{6,0}(X, 5)$. Then the following statements are true:

- a) if quasinormal representation of a binary relation has a form $\alpha = (Y_4^\alpha \times Z_4) \cup (Y_1^\alpha \times Z_1)$,

- where $Y_4^\alpha, Y_1^\alpha \notin \{\emptyset\}$, then α is generating by elements of the elements of set $B(A_0)$;
- b) if quasinormal representation of a binary relation has a form $\alpha = (Y_3^\alpha \times Z_3) \cup (Y_1^\alpha \times Z_1)$, where $Y_3^\alpha, Y_1^\alpha \notin \{\emptyset\}$, then α is generating by elements of the elements of set $B(A_0)$;
- c) if quasinormal representation of a binary relation has a form $\alpha = (Y_4^\alpha \times Z_4) \cup (Y_0^\alpha \times \bar{D})$, where $Y_4^\alpha, Y_0^\alpha \notin \{\emptyset\}$, then α is generating by elements of the elements of set $B(A_0)$;
- d) if quasinormal representation of a binary relation has a form $\alpha = (Y_3^\alpha \times Z_3) \cup (Y_0^\alpha \times \bar{D})$, where $Y_3^\alpha, Y_0^\alpha \notin \{\emptyset\}$, then α is generating by elements of the elements of set $B(A_0)$;
- e) if quasinormal representation of a binary relation has a form $\alpha = (Y_1^\alpha \times Z_1) \cup (Y_0^\alpha \times \bar{D})$, where $Y_1^\alpha, Y_0^\alpha \notin \{\emptyset\}$, then α is generating by elements of the elements of set $B(A_0)$;
- f) if quasinormal representation of a binary relation has a form $\alpha = (Y_2^\alpha \times Z_2) \cup (Y_0^\alpha \times \bar{D})$, where $Y_2^\alpha, Y_0^\alpha \notin \{\emptyset\}$, then α is generating by elements of the elements of set $B(A_0)$;
- g) if quasinormal representation of a binary relation has a form $\alpha = X \times Z_1$, then α is generating by elements of the elements of set $B(A_0)$.
- h) if quasinormal representation of a binary relation has a form $\alpha = X \times \bar{D}$, then α is generating by elements of the elements of set $B(A_0)$.

Lemma 2.4. Let $D \in \Sigma_{6,0}(X, 5)$. Then the following statements is true:

- a) if $|X \setminus \bar{D}| \geq 1$ and $T \in \{Z_4, Z_3, Z_2\}$, then binary relation $\alpha = X \times T$ is generating by elements of the elements of set $B(A_0)$;
- b) if $X = \bar{D}$ and $T \in \{Z_4, Z_3, Z_2\}$, then binary relation $\alpha = X \times T$ is external element for the semigroup $B_X(D)$.

3. Result

Theorem 2.1. Let $D \in \Sigma_{6,0}(X, 5)$ and

$$A_0 = \{\{Z_4, Z_3, Z_1, \bar{D}\}, \{Z_4, Z_2, Z_1, \bar{D}\}, \{Z_3, Z_2, Z_1, \bar{D}\}, \{Z_4, Z_3, Z_1\}, \{Z_4, Z_2, \bar{D}\}, \{Z_3, Z_2, \bar{D}\}, \{Z_2, Z_1, \bar{D}\}\},$$

$$B(A_0) = \{\alpha \in B_X(D) \mid V(D, \alpha) \in A_0\}; B_0 = \{\alpha \in B_X(D) \mid V(X^*, \alpha) = D\}.$$

Then the following statements are true:

- a) if $|X \setminus \bar{D}| \geq 1$, then the $S_0 = B_0 \cup B(A_0)$ is irreducible generating set for the semigroup $B_X(D)$;
- b) if $X = \bar{D}$, then the $S_1 = B_0 \cup B(A_0) \cup \{X \times Z_4, X \times Z_3, X \times Z_2\}$ is irreducible generating set for the semigroup $B_X(D)$.

Proof. Let $D \in \Sigma_{6,0}(X, 5)$ and $|X \setminus \bar{D}| \geq 1$. First, we proved that every element of the semigroup $B_X(D)$ is generating by elements of the set S_0 . Indeed, let α be arbitrary element of the semigroup $B_X(D)$.

Then quasinormal representation of a binary relation α has a form

$$\alpha = (Y_4^\alpha \times Z_4) \cup (Y_3^\alpha \times Z_3) \cup (Y_2^\alpha \times Z_2) \cup (Y_1^\alpha \times Z_1) \cup (Y_0^\alpha \times \bar{D}),$$

where $Y_4^\alpha \cup Y_3^\alpha \cup Y_2^\alpha \cup Y_1^\alpha \cup Y_0^\alpha = X$ and $Y_i^\alpha \cap Y_j^\alpha = \emptyset$ ($0 \leq i \neq j \leq 4$). For the $|V(X^*, \alpha)|$ we consider the following cases:

- 1) $|V(X^*, \alpha)| = 5$. Then $\alpha \in B_0$ and $B_0 \subset S_0$ by definition of a set S_0 .

2) $|V(X^*, \alpha)| = 4$. Then $V(X^*, \alpha) \in A_4 = \{\{Z_4, Z_3, Z_1, \bar{D}\}, \{Z_4, Z_2, Z_1, \bar{D}\}, \{Z_3, Z_2, Z_1, \bar{D}\}\} \subset A_0$ i.e. $\alpha \in B(A_0)$ and $B(A_0) \subset S_0$ by definition of a set S_0 .

3) $|V(X^*, \alpha)| = 3$. Then we have

$$V(X^*, \alpha) \in A_3 = \{\{Z_4, Z_3, Z_1\}, \{Z_4, Z_2, \bar{D}\}, \{Z_3, Z_2, \bar{D}\}, \{Z_4, Z_1, \bar{D}\}, \{Z_3, Z_1, \bar{D}\}, \{Z_2, Z_1, \bar{D}\}\}.$$

By definition of a set A_0 we have that $\{\{Z_4, Z_3, Z_1\}, \{Z_4, Z_2, \bar{D}\}, \{Z_3, Z_2, \bar{D}\}, \{Z_2, Z_1, \bar{D}\}\} \subset A_0$, i.e. in this case $\alpha \in B(A_0)$ and $B(A_0) \subset S_0$ by definition of a set S_0 .

If $V(X^*, \alpha) \in \{\{Z_4, Z_1, \bar{D}\}, \{Z_3, Z_1, \bar{D}\}\}$, then from the statement a) and b) of the Lemma 2.2 element α is generating by elements $B(A_0)$ and $B(A_0) \subset S_0$ by definition of a set S_0 .

4) $|V(X^*, \alpha)| = 2$. Then we have, that

$$V(X^*, \alpha) \in A_2 = \{\{Z_4, Z_1\}, \{Z_3, Z_1\}, \{Z_4, \bar{D}\}, \{Z_3, \bar{D}\}, \{Z_1, \bar{D}\}, \{Z_2, \bar{D}\}\}.$$

Then from the statement a)–f) of the Lemma 2.3 element α is generating by elements $B(A_0)$ and $B(A_0) \subset S_0$ by definition of a set S_0 .

5) $|V(X^*, \alpha)| = 1$. Then we have, that $V(X^*, \alpha) \in A_1 = \{\{Z_1\}, \{\bar{D}\}, \{Z_4\}, \{Z_3\}, \{Z_2\}\}$.

If $V(X^*, \alpha) \in \{\{Z_1\}, \{\bar{D}\}\}$, then from the statement g), h) of the Lemma 2.3 element α is generating by elements $B(A_0)$ and $B(A_0) \subset S_0$ by definition of a set S_0 .

If $V(X^*, \alpha) \in \{\{Z_4\}, \{Z_3\}, \{Z_2\}\}$, then from the statement a) of the Lemma 2.4 element α is generating by elements $B(A_0)$ and $B(A_0) \subset S_0$ by definition of a set S_0 .

Thus, we have that S_0 is generating set for the semigroup $B_X(D)$.

If $|X \setminus \bar{D}| \geq 1$, then the set S_0 is irreducible generating set for the semigroup $B_X(D)$ since S_0 is a set external elements of the semigroup $B_X(D)$.

The statement a) of the Theorem 2.1 is proved.

Now, let $D \in \Sigma_{6,0}(X, 5)$ and $X = \bar{D}$. First, we proved that every element of the semigroup $B_X(D)$ is generating by elements of the set S_1 . The cases 1), 2), 3) and 4) are proved analogously of the cases 1), 2), 3) and 4) given above and consider case, when

$$V(X^*, \alpha) \in A_1 = \{\{Z_1\}, \{\bar{D}\}, \{Z_4\}, \{Z_3\}, \{Z_2\}\}.$$

If $V(X^*, \alpha) \in \{\{Z_1\}, \{\bar{D}\}\}$, then from the statement g), h) of the Lemma 2.3 element α is generating by elements $B(A_0)$ and $B(A_0) \subset S_0$ by definition of a set S_1 .

If $V(X^*, \alpha) \in \{\{Z_4\}, \{Z_3\}, \{Z_2\}\}$, then $\alpha \in S_1$ by definition of a set S_1 .

Thus, we have that S_1 is generating set for the semigroup $B_X(D)$.

If $X = \bar{D}$, then the set S_1 is irreducible generating set for the semigroup $B_X(D)$ since S_1 is a set external elements of the semigroup $B_X(D)$.

The statement b) of the Theorem 2.1 is proved.

Theorem 2.1 is proved.

Theorem 2.2. Let $D = \{Z_4, Z_3, Z_2, Z_1, \bar{D}\} \in \Sigma_{6,0}(X, 5)$ and

$$A_0 = \{\{Z_4, Z_3, Z_1, \bar{D}\}, \{Z_4, Z_2, Z_1, \bar{D}\}, \{Z_3, Z_2, Z_1, \bar{D}\}, \{Z_4, Z_3, Z_1\}, \{Z_4, Z_2, \bar{D}\}, \{Z_3, Z_2, \bar{D}\}, \{Z_2, Z_1, \bar{D}\}\},$$

$$B(A_0) = \{\alpha \in B_X(D) \mid V(D, \alpha) \in A_0\}; B_0 = \{\alpha \in B_X(D) \mid V(X^*, \alpha) = D\}.$$

Then the following statements are true:

a) If $|X \setminus \bar{D}| \geq 1$, then the number $|S_0|$ elements of the set $S_0 = B_0 \cup B(A_0)$ is equal to

$$|S_0| = 5^n - 2 \cdot 3^n + 5.$$

b) If $X = \bar{D}$, then the number $|S_1|$ elements of the set $S_1 = B_0 \cup B(A_0) \cup \{X \times Z_4, X \times Z_3, X \times Z_2\}$ is equal to

$$|S_1| = 5^n - 2 \cdot 3^n + 8.$$

Proof. Let number of a set X is equal to n , i.e. $|X| = n$. Let $S_n = \{\varphi_1, \varphi_2, \dots, \varphi_{n!}\}$ is a group all one to one mapping of a set $M = \{1, 2, \dots, n\}$ on the set M and $\varphi_{i_1}, \varphi_{i_2}, \dots, \varphi_{i_m}$ ($m \leq n$) are arbitrary elements of the group S_n , $Y_{\varphi_1}, Y_{\varphi_2}, \dots, Y_{\varphi_m}$ are arbitrary partitioning of a set X . By symbol k_n^m we denote the number elements of a set $\{Y_{\varphi_1}, Y_{\varphi_2}, \dots, Y_{\varphi_m}\}$. It is well know, that

$$k_n^m = \sum_{i=1}^m \frac{(-1)^{m+i}}{(i-1)! \cdot (m-i)!} \cdot i^{n-1}.$$

If $m = 2, 3, 4, 5$, then we have

$$k_n^2 = 2^{n-1} - 1, \quad k_n^3 = \frac{1}{2} \cdot 3^{n-1} - 2^{n-1} + \frac{1}{2}, \quad k_n^4 = \frac{1}{6} \cdot 4^{n-1} - \frac{1}{2} \cdot 3^{n-1} + \frac{1}{2} \cdot 2^{n-1} - \frac{1}{6},$$

$$k_n^5 = \frac{1}{24} \cdot 5^{n-1} - \frac{1}{6} \cdot 4^{n-1} + \frac{1}{4} \cdot 3^{n-1} - \frac{1}{6} \cdot 2^{n-1} + \frac{1}{24}.$$

If $Y_{\varphi_1}, Y_{\varphi_2}$ are any two elements partitioning of a set X and $\bar{\beta} = (Y_{\varphi_1} \times T_1) \cup (Y_{\varphi_2} \times T_2)$, where $T_1, T_2 \in D$ and $T_1 \neq T_2$. Then number of different binary relations $\bar{\beta}$ of a semigroup $B_X(D)$ is equal to

$$2 \cdot k_n^2 = 2^n - 2. \quad (3)$$

If $Y_{\varphi_1}, Y_{\varphi_2}, Y_{\varphi_3}$ are any tree elements partitioning of a set X and

$$\bar{\beta} = (Y_{\varphi_1} \times T_1) \cup (Y_{\varphi_2} \times T_2) \cup (Y_{\varphi_3} \times T_3),$$

where T_1, T_2, T_3 are pairwise different elements of a given semilattice D . Then number of different binary relations $\bar{\beta}$ of a semigroup $B_X(D)$ is equal to

$$6 \cdot k_n^3 = 3^n - 3 \cdot 2^n + 3. \quad (4)$$

If $Y_{\varphi_1}, Y_{\varphi_2}, Y_{\varphi_3}, Y_{\varphi_4}$ are any four elements partitioning of a set X and

$$\bar{\beta} = (Y_{\varphi_1} \times T_1) \cup (Y_{\varphi_2} \times T_2) \cup (Y_{\varphi_3} \times T_3) \cup (Y_{\varphi_4} \times T_4),$$

where T_1, T_2, T_3, T_4 are pairwise different elements of a given semilattice D . Then number of different binary relations $\bar{\beta}$ of a semigroup $B_X(D)$ is equal to

$$24 \cdot k_n^4 = 4^n - 4 \cdot 3^n + 3 \cdot 2^{n+1} - 4. \quad (5)$$

If $Y_{\varphi_1}, Y_{\varphi_2}, Y_{\varphi_3}, Y_{\varphi_4}, Y_{\varphi_5}$ are any four elements partitioning of a set X and

$$\bar{\beta} = (Y_{\varphi_1} \times T_1) \cup (Y_{\varphi_2} \times T_2) \cup (Y_{\varphi_3} \times T_3) \cup (Y_{\varphi_4} \times T_4) \cup (Y_{\varphi_5} \times T_5),$$

where T_1, T_2, T_3, T_4, T_5 are pairwise different elements of a given semilattice D . Then number of different binary relations $\bar{\beta}$ of a semigroup $B_X(D)$ is equal to

$$120 \cdot k_n^5 = 5^n - 5 \cdot 4^n + 10 \cdot 3^n - 10 \cdot 2^n + 5. \quad (6)$$

If $\alpha \in B_0$, then quasinormal representation of a binary relation α has a form

$$\alpha = (Y_4^\alpha \times Z_4) \cup (Y_3^\alpha \times Z_3) \cup (Y_2^\alpha \times Z_2) \cup (Y_1^\alpha \times Z_1) \cup (Y_0^\alpha \times \check{D}),$$

where $Y_4^\alpha, Y_3^\alpha, Y_2^\alpha \notin \{\emptyset\}$, or a system $Y_4^\alpha, Y_3^\alpha, Y_2^\alpha, Y_1^\alpha$, or a system $Y_4^\alpha, Y_3^\alpha, Y_2^\alpha, Y_0^\alpha$, or a system $Y_4^\alpha, Y_3^\alpha, Y_2^\alpha, Y_1^\alpha, Y_0^\alpha$ are partitioning of the set X .

If the system $Y_4^\alpha, Y_3^\alpha, Y_2^\alpha$, or a system $Y_4^\alpha, Y_3^\alpha, Y_2^\alpha, Y_1^\alpha$, or a system $Y_4^\alpha, Y_3^\alpha, Y_2^\alpha, Y_0^\alpha$, or a system $Y_4^\alpha, Y_3^\alpha, Y_2^\alpha, Y_1^\alpha, Y_0^\alpha$ are partitioning of the set X . Of this from the equalities (4), (5) and (6) follows that

$$\begin{aligned} |B_0| &= (5^n - 5 \cdot 4^n + 10 \cdot 3^n - 10 \cdot 2^n + 5) + 2 \cdot (4^n - 4 \cdot 3^n + 6 \cdot 2^n - 4) + \\ &+ (3^n - 3 \cdot 2^n + 3) = 5^n - 3 \cdot 4^n + 3 \cdot 3^n - 2^n + 4. \end{aligned}$$

If $\alpha \in B(A_0)$, then by definition of a set $B(A_0)$ the quasinormal representation of a binary relation α has a form:

$$\alpha = (Y_4^\alpha \times Z_4) \cup (Y_3^\alpha \times Z_3) \cup (Y_1^\alpha \times Z_1) \cup (Y_0^\alpha \times \check{D}),$$

where $Y_4^\alpha, Y_3^\alpha, Y_0^\alpha \in \{\emptyset\}$, or $Y_4^\alpha, Y_3^\alpha, Y_1^\alpha, Y_0^\alpha \in \{\emptyset\}$ are partitioning of the set X respectively;

$$\alpha = (Y_4^\alpha \times Z_4) \cup (Y_2^\alpha \times Z_2) \cup (Y_1^\alpha \times Z_1) \cup (Y_0^\alpha \times \check{D}),$$

where $Y_4^\alpha, Y_2^\alpha, Y_1^\alpha \in \{\emptyset\}$, or $Y_4^\alpha, Y_2^\alpha, Y_1^\alpha, Y_0^\alpha \in \{\emptyset\}$ are partitioning of the set X respectively;

$$\alpha = (Y_3^\alpha \times Z_3) \cup (Y_2^\alpha \times Z_2) \cup (Y_1^\alpha \times Z_1) \cup (Y_0^\alpha \times \check{D})$$

where $Y_3^\alpha, Y_2^\alpha, Y_1^\alpha \in \{\emptyset\}$, or $Y_3^\alpha, Y_2^\alpha, Y_1^\alpha, Y_0^\alpha \in \{\emptyset\}$ are partitioning of the set X respectively;

$$\alpha = (Y_4^\alpha \times Z_4) \cup (Y_3^\alpha \times Z_3) \cup (Y_1^\alpha \times Z_1),$$

where $Y_4^\alpha, Y_3^\alpha \in \{\emptyset\}$, or $Y_4^\alpha, Y_3^\alpha, Y_1^\alpha \in \{\emptyset\}$ are partitioning of the set X respectively;

$$\alpha = (Y_4^\alpha \times Z_4) \cup (Y_2^\alpha \times Z_2) \cup (Y_0^\alpha \times \check{D}),$$

where $Y_4^\alpha, Y_2^\alpha \in \{\emptyset\}$, or $Y_4^\alpha, Y_2^\alpha, Y_0^\alpha \in \{\emptyset\}$ are partitioning of the set X respectively;

$$\alpha = (Y_3^\alpha \times Z_3) \cup (Y_2^\alpha \times Z_2) \cup (Y_0^\alpha \times \check{D})$$

where $Y_3^\alpha, Y_2^\alpha \in \{\emptyset\}$, or $Y_3^\alpha, Y_2^\alpha, Y_0^\alpha \in \{\emptyset\}$ are partitioning of the set X respectively;

$$\alpha = (Y_2^\alpha \times Z_2) \cup (Y_1^\alpha \times Z_1) \cup (Y_0^\alpha \times \check{D}),$$

where $Y_2^\alpha, Y_1^\alpha \in \{\emptyset\}$, or $Y_2^\alpha, Y_1^\alpha, Y_0^\alpha \in \{\emptyset\}$ are partitioning of the set X respectively.

Of this and from the equality (3), (4) and (5) follows that

$$\begin{aligned} |B(A_0)| &= 4 \cdot (2^n - 2) + 7 \cdot (3^n - 3 \cdot 2^n + 3) + 3 \cdot (4^n - 4 \cdot 3^n + 6 \cdot 2^n - 4) = \\ &= 4 \cdot 2^n - 8 + 7 \cdot 3^n - 21 \cdot 2^n + 21 + 3 \cdot 4^n - 12 \cdot 3^n + 18 \cdot 2^n - 12 = 3 \cdot 4^n - 5 \cdot 3^n + 2^n + 1. \end{aligned}$$

So, we have that:

$$\begin{aligned} |S_0| &= |B_0 \cup B(A_0)| = (5^n - 3 \cdot 4^n + 3 \cdot 3^n - 2^n + 4) + (3 \cdot 4^n - 5 \cdot 3^n + 2^n + 1) = \\ &= 5^n - 2 \cdot 3^n + 5, \\ |S_1| &= |B_0 \cup B(A_0) \cup \{X \times Z_4, X \times Z_3, X \times Z_2\}| = 5^n - 2 \cdot 3^n + 8. \end{aligned}$$

since $B_0 \cap B(A_0) = B_0 \cap \{X \times Z_4, X \times Z_3, X \times Z_2\} = B(A_0) \cap \{X \times Z_4, X \times Z_3, X \times Z_2\} = \emptyset$.

Theorem 2.2 is proved.

By symbol $\Sigma_{6,1}(X, 5)$ we denoted all semilattices $D = \{Z_4, Z_3, Z_2, Z_1, \check{D}\}$ of the class $\Sigma_6(X, 5)$ for which $Z_4 \cap Z_3 \cap Z_2 = \emptyset$. Of the last equality from the formal equalities of a semilattice D follows that $Z_4 \cap Z_3 \cap Z_2 = P_0 = \emptyset$, i.e. $|X| \geq 4$ since $P_4 \neq \emptyset$, $P_3 \neq \emptyset$, $P_2 \neq \emptyset$, $P_1 \neq \emptyset$.

In this case, the formal equalities of the semilattice D has a form:

$$\begin{aligned}\tilde{D} &= P_1 \cup P_2 \cup P_3 \cup P_4, \\ Z_1 &= P_2 \cup P_3 \cup P_4, \\ Z_2 &= P_1 \cup P_3 \cup P_4, \\ Z_3 &= P_2 \cup P_4, \\ Z_4 &= P_2 \cup P_3.\end{aligned}$$

From the formal equalities of the semilattice D immediately follows, that:

$$P_4 = Z_3 \setminus Z_4, P_3 = Z_4 \setminus Z_3 = Z_1 \setminus Z_3, P_2 = Z_4 \cap Z_3 = Z_1 \setminus Z_2, P_1 = Z_2 \setminus Z_1.$$

In this case we suppose that $D \in \Sigma_{6,1}(X, 5)$.

Let $D \in \Sigma_{6,1}(X, 5)$. By symbols A_0 , $B(A_0)$ and B_0 we denoted the following sets:

$$\begin{aligned}A_0 &= \{\{Z_4, Z_3, Z_1, \tilde{D}\}, \{Z_4, Z_2, Z_1, \tilde{D}\}, \{Z_3, Z_2, Z_1, \tilde{D}\}, \{Z_4, Z_3, Z_1\}, \{Z_4, Z_2, \tilde{D}\}, \{Z_3, Z_2, \tilde{D}\}, \{Z_2, Z_1, \tilde{D}\}\}, \\ B(A_0) &= \{\alpha \in B_X(D) \mid V(X^*, \alpha) \in A_0\}, B_0 = \{\alpha \in B_X(D) \mid V(X^*, \alpha) = D\}\end{aligned}$$

Remark, that the of the sets B_0 and $B(A_0)$ are external elements for the semigroup $B_X(D)$.

Theorem 3.1. *Let $D \in \Sigma_{6,1}(X, 5)$, then the following statements are true:*

- a) *if $|X \setminus \tilde{D}| \geq 1$, then the $S_0 = B_0 \cup B(A_0)$ is irreducible generating set for the semigroup $B_X(D)$;*
- b) *if $X = \tilde{D}$, then the $S_1 = B_0 \cup B(A_0) \cup \{X \times Z_4, X \times Z_3, X \times Z_2\}$ is irreducible generating set for the semigroup $B_X(D)$.*

Theorem 3.2. *Let $D = \{Z_4, Z_3, Z_2, Z_1, \tilde{D}\} \in \Sigma_{6,0}(X, 5)$ and*

$$\begin{aligned}A_0 &= \{\{Z_4, Z_3, Z_1, \tilde{D}\}, \{Z_4, Z_2, Z_1, \tilde{D}\}, \{Z_3, Z_2, Z_1, \tilde{D}\}, \{Z_4, Z_3, Z_1\}, \{Z_4, Z_2, \tilde{D}\}, \{Z_3, Z_2, \tilde{D}\}, \{Z_2, Z_1, \tilde{D}\}\}, \\ B(A_0) &= \{\alpha \in B_X(D) \mid V(D, \alpha) \in A_0\}; B_0 = \{\alpha \in B_X(D) \mid V(X^*, \alpha) = D\}.\end{aligned}$$

Then the following statements are true:

- a) *If $|X \setminus \tilde{D}| \geq 1$, then the number $|S_0|$ elements of the set $S_0 = B_0 \cup B(A_0)$ is equal to*

$$|S_0| = 5^n - 2 \cdot 3^n + 5.$$

- b) *If $X = \tilde{D}$, then the number $|S_1|$ elements of the set $S_1 = B_0 \cup B(A_0) \cup \{X \times Z_4, X \times Z_3, X \times Z_2\}$ is equal to*

$$|S_1| = 5^n - 2 \cdot 3^n + 8.$$

Proof. The theorem 3.1 and 3.2 we may prove analogously of the theorems 2.1 and 2.2.

References:

1. Yasha Diasamidze, Shota Makharadze. Complete semigroups of binary relations. Turkey, Kriter, 2013, 1–519.
2. Yasha Diasamidze, Neşet Aydin, Ali Erdoğan. Generating Set of the Complete Semigroups of Binary Relations. Applied Mathematics, 2016, 7, 98–107.
3. Ya. Diasamidze, N. Tsinaridze, and G. Tavdgiridze. Generating Sets of the Complete Semigroup of Binary Relations defined by Semilattices of the class $\Sigma 4(X, 4)$. Journal of Mathematical Sciences, Vol. 275, No. 5, October, 2023, 617–643.

ნანოკომპოზიტური სტრუქტურების ეფექტური დიელექტრიკული შელწევადობის განსაზღვრა

ომარ ნაკაშიძე, ლალი კალანდაძე, ნუგზარ ღომიძე

ბათუმის შოთა რუსთაველის სახელმწიფო უნივერსიტეტი

omar.nakashidze@bsu.edu.ge, lali.kalandadze@bsu.edu.ge, gomidze@bsu.edu.ge

რეზიუმე

ნაშრომში განხილულია ϵ_m დიელექტრიკულ შელწევადობის მატრიცაში ქაოსურად ორიენტირებული ელიფსოიდალური ფორმის ნანონაწილაკებისაგან შედგენილი მრავალკომპონენტიანი ნანოდისპერსული სტრუქტურა. მიღებულია ასეთი სტრუქტურის ეფექტური დიელექტრიკული შელწევადობის გამოსათვლელი ფორმულები. ნაჩვენებია, რომ ნაწილაკთა პოლარიზაციის საშუალო მნიშვნელობის გამოთვლა დაიყვანება დეპოლარიზაციის ფაქტორის ეფექტური მნიშვნელობის შემოტანაზე. გამოკვლეულია ერთკომპონენტიანი ნანოსტრუქტურის ეფექტური დიელექტრიკული შელწევადობის დამოკიდებულება მის სტრუქტურულ პარამეტრებზე.

საკვანძო სიტყვები: ნანოდისპერსული სტრუქტურა, ეფექტური გარემოს მიახლოება, დეპოლარიზაციის კოეფიციენტი, ეფექტური დიელექტრიკული შელწევადობა

1. შესავალი.

ნანოკომპოზიტური სტრუქტურების ოპტიკური თვისებების აღწერისათვის ფართოდ გამოიყენება ეფექტური გარემოს მეთოდები [1-13]. დღემდე, ეს მეთოდები გამოიყენება ნანოკომპოზიტური სტრუქტურების როგორც ოპტიკური, ასევე, მაგნიტო-ოპტიკური თვისებების აღწერისათვის. მაგრამ, უნდა აღინიშნოს, რომ ექსპერიმენტული მონაცემები და თეორიული შედეგები ყოველთვის არ არის თანხვედრაში [7,8]. ეს ნიშნავს, რომ არსებული თეორია არ არის უნივერსალური და უნდა განვითარდეს ამ მიმართულებით. ამ მიზნით, მოცემულ ნაშრომში განხილულია ϵ_m დიელექტრიკულ შელწევადობის მატრიცაში ქაოსურად ორიენტირებული ელიფსოიდალური ფორმის ნანო ზომის ნაწილაკებისაგან შედგენილი მრავალკომპონენტიანი ნანოდისპერსული სტრუქტურა. დეპოლარიზაციის ფაქტორის ეფექტური მნიშვნელობის შემოტანით, გამოთვლილია ნანონაწილაკთა პოლარიზაციის საშუალო მნიშვნელობა, რაც წარმოადგენს ნაშრომის სიახლეს ეფექტური გარემოს მიახლოების მოდელისთვის და განაპირობებს ამ მეთოდის დახვეწას და სრულყოფას.

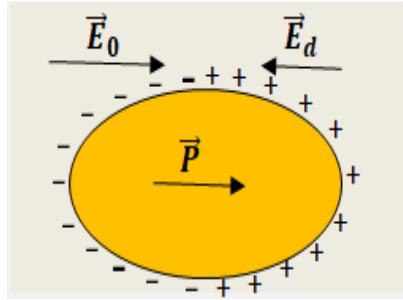
საზოგადოდ, ეფექტური გარემოს მიახლოებაში, ნანოდისპერსიული სტრუქტურა შეიძლება განვიხილოთ როგორც ϵ_{ef} ეფექტური დიელექტრიკული შელწევადობის მქონე ისეთი ახალი ერთგვაროვანი გარემო, რომელსაც გააჩნია იგივე ოპტიკური თვისებები, როგორც მოცემულ ნანოდისპერსულ სტრუქტურას. რადგანაც ნანონაწილაკების ზომები და მათ შორის მანძილი მცირეა გარემოში სინათლის ტალღის სიგრძეზე, ამიტომ ასეთი გარემოს ეფექტური დიელექტრიკული შელწევადობის ϵ_{ef} გამოსათვლელად საკმარისია შემოვიფარგლოთ ელექტროსტატიკური მიახლოებით.

თუ ცნობილია კომპოზიტური გარემოს ცალკეული კომპონენტის ოპტიკური პარამეტრები, მათი კონცენტრაცია და გეომეტრიული ფორმა, ეფექტური გარემოს მოდელის ფარგლებში, შესაძლებელია განისაზღვროს კომპოზიტური გარემოს, როგორც მთლიანის, ეფექტური

ოპტიკური მუდმივები. ამ ამოცანის გადაწყვეტისათვის, პირველ რიგში, უნდა განიხილოს ერთი ნაწილაკის ამოცანა. კერძოდ, გამოვთვალოთ გარე ელექტროსტატიკურ ველში მოთავსებული, მოცემული ფორმის ნაწილაკის პოლარიზაცია.

დიელექტრიკული ბირთვის პოლარიზაციის კოეფიციენტი

განვიხილოთ შემთხვევა, როცა ნაწილაკებს აქვთ ელიფსოიდის ფორმა. სფერული ფორმის ნაწილაკებისაგან განსხვავებით, ასეთი ნაწილაკებისათვის დამახასიათებელია ფორმის ანიზოტროპულობა. მათი პოლარიზებულობა დამოკიდებულია მათ ფორმაზე, რომელიც განისაზღვრება ელიფსოიდის მთავარი ღერძების შეფარდებით და გარე ელექტროსტატიკურ ველში მათ ორიენტაციაზე.



სურ. 1. პოლარიზებული ელიფსოიდი

როგორც თეორიული გამოთვლები გვიჩვენებს [2, 12], ადგილი აქვს ელიფსოიდის თანაბარ პოლარიზაციას მხოლოდ იმ შემთხვევაში, როცა გარე $\vec{E}_0$ ველი მიმართულია ელიფსოიდის რომელიმე ($i = a, b, c$) მთავარი ღერძის მიმართულებით და რომელიმე ამ მიმართულებით ელიფსოიდის დეპოლარიზაციის ველი გამოისახება ფორმულით:

$$\vec{E}_d = -4\pi f_i \vec{P} \quad (1)$$

სადაც, $\vec{P}$ პოლარიზაციის ვექტორია, ხოლო f_i არის ელიფსოიდის ფორმის ანუ დეპოლარიზაციის ფაქტორი. ის დამოკიდებულია ელიფსოიდის მთავარი ღერძების ფარდობაზე და გამოითვლება ინტეგრალით, რომელიც ჯერ კიდევ XIX საუკუნის 50-იან წლებში მიღებულ იქნა დირიხლეს მიერ [2, 12]

$$f_i = \frac{abc}{2} \int_0^\infty \frac{ds}{(s+i^2)((s+a^2)(s+b^2)(s+c^2))^{1/2}} \quad (2)$$

დეპოლარიზაციის ფაქტორები f_a , f_b და f_c , აკმაყოფილებენ პირობას:

$$f_a + f_b + f_c = 1 \quad (3)$$

ამასთან, თუ $a < b < c$, მაშინ $f_a > f_b > f_c$.

f_a , f_b და f_c დეპოლარიზაციის ფაქტორების რიცხვითი მნიშვნელობები გამოთვლილი ელიფსოიდის მთავარი ღერძების a/b და b/c ფარდობების სხვადასხვა მნიშვნელობის დროს მოცემულია ცხრილში 1.

ცხრილი 1. f_a , f_b და f_c მნიშვნელობები a/b და b/c თანაფარდობებისთვის

№	a/b	b/c	f_a	f_b	f_c
1	1/1	1/1	0,333	0,333	0,333
2	1/2	2/3	0,574	0,265	0,161
3	1/4	4/5	0,723	0,158	0,136

4	1/10	1/10	0,901	0,089	0,010
5	1/10	1/1	0,857	0,072	0,072
6	10/1	1/1	0,020	0,490	0,490

გაცილებით მარტივია გამოთვლები სფეროიდის (ბრუნვითი ელიფსოიდის) შემთხვევაში. სფეროიდის ორი მთავარი ეკვატორული ღერძი ტოლია, $b = c \neq a$ და შესაბამისად $f_b = f_c \neq f_a$. ამ შემთხვევაში დეპოლარიზაციის ფაქტორი პოლარული a ღერძის მიმართულებით დაიყვანება შემდეგი სახის ელემენტარულ ინტეგრალზე:

$$f_a = \frac{ab^2}{2} \int_0^\infty \frac{ds}{(s + a^2)^{3/2}(s + b^2)} \quad (4)$$

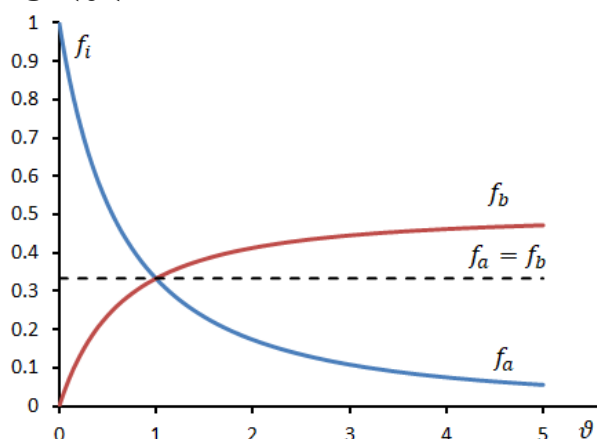
$a < b$ პოლარული ღერძის მიმართ შებრტყელებული სფეროიდის და $a > b$ –პოლარული ღერძის მიმართ გაჭიმული ელიფსოიდის შემთხვევაში, (4) ინტეგრალის ამონახსნი იქნება

$$f_a = \begin{cases} \frac{1}{1-\vartheta^2} \left(1 - \frac{\vartheta}{\sqrt{1-\vartheta^2}} \cdot \arcsin(\sqrt{1-\vartheta^2}) \right) & \text{when } a < b \\ \frac{1}{\vartheta^2-1} \left(\frac{\vartheta}{\sqrt{\vartheta^2-1}} \cdot \ln(\vartheta + \sqrt{\vartheta^2-1}) - 1 \right) & \text{when } a > b \end{cases} \quad (5)$$

სადაც, $\vartheta = \frac{a}{b}$

დეპოლარიზაციის ფაქტორი ეკვატორული ღერძის მიმართ $f_b = f_c = \frac{1}{2}(1 - f_a)$.

f_a და f_b დეპოლარიზაციის ფაქტორების $\vartheta = a/b$ პარამეტრზე დამოკიდებულების გრაფიკები გამოსახულია სურ.2-ზე. როგორც ამ გრაფიკებიდან ჩანს ბრუნვის ღერძის მიმართულებით სფეროიდის ფორმის ფაქტორი იცვლება (0;1), ხოლო მისი მართობული მიმართულებით (0;0,5) შუალედში.



სურ.2. სფეროიდისათვის f_a და f_b დეპოლარიზაციის ფაქტორების დამოკიდებულება ϑ პარამეტრზე

განვიხილოთ შემდეგი პირობები:

1. $a = b = c$, ბირთვის დეპოლარიზაციის ფაქტორები $f_a = f_b = f_c = \frac{1}{3}$;
2. $a \gg b$ –ბრუნვის ღერძის მიმართ ძლიერ გაჭიმული სფეროიდის (ნემსი), ან $a = \infty$ ცილინდრის ფორმის ნაწილაკებისათვის, $\vartheta = \infty$. ბრუნვის ღერძის გასწვრივ ფორმის ფაქტორი $f_a = 0$, ხოლო მისი მართობული მიმართულებით $f_b = \frac{1}{2}$;
3. $a \ll b$ –ძლიერ გაბრტყელებული სფეროიდის (დისკი) ან $a = 0$ სიბრტყის შემთხვევაში, $\vartheta = 0$, ხოლო $f_a = 1$ (დისკის ღერძის, ან სიბრტყის მართობული მიმართულება), ხოლო $f_b = 0$ (დისკის ღერძის მართობული მიმართულებით ან სიბრტყის გასწვრივ).

დავუბრუნდეთ დიელექტრიკული ელიფსოიდის ამოცანას და გამოვთვალოთ $\vec{E}_0$ გარე ელექტროსტატიკურ ველში მოთავსებული V მოცულობისა და ε დიელექტრიკული შეღწევადობის ბირთვის პოლარიზებულება. ჩავთვალოთ რომ ბირთვის ირგვლივ გარემო ვაკუუმი. ამ შემთხვევაში ნაწილაკზე მოქმედი ლოკალური ველის დამაბულობა, რომელიც გარე $\vec{E}_0$ და დეპოლარიზაციის $\vec{E}_d$ ველების ჯამის ტოლია გამოისახება ფორმულით:

$$\vec{E}_L = \vec{E}_0 - 4\pi f_i \vec{P} \quad (6)$$

თუ დიელექტრიკული ამთვისებლობაა χ , მაშინ

$$\varepsilon = 1 + 4\pi\chi \quad (7)$$

და

$$\vec{P} = \chi \vec{E}_L \quad (8)$$

6-8 ფორმულებიდან ვღებულობთ

$$\vec{P} = \frac{1}{4\pi} \cdot \frac{\varepsilon-1}{1+f(\varepsilon-1)} \vec{E}_0. \quad (9)$$

თუ სფეროიდის მოცულობაა V , მაშინ გარე $\vec{E}_0$ ველში ნაწილაკის მიერ შეძენილი დიპოლური მომენტი

$$\vec{P}_0 = \vec{P} \cdot V = \frac{V}{4\pi} \cdot \frac{\varepsilon-1}{1+f(\varepsilon-1)} \vec{E}_0 \quad (10)$$

მაშასადამე, ვაკუუმში V მოცულობისა და ε დიელექტრიკული შეღწევადობის სფეროიდის პოლარიზებულება

$$\beta_i = \frac{\vec{P}_0}{\vec{E}_0} = \frac{V}{4\pi} \frac{\varepsilon-1}{1+f_i(\varepsilon-1)} \quad (11)$$

პოლარიზაციის კოეფიციენტი

$$\alpha_i = \frac{\vec{P}}{\vec{E}_0} = \frac{1}{4\pi} \frac{\varepsilon-1}{1+f_i(\varepsilon-1)} \quad (12)$$

ვთქვათ, ნაწილაკი, დიელექტრიკული შეღწევადობით ε , მოთავსებულია ε_m დიელექტრიკული შეღწევადობის დიელექტრიკში. ამ შემთხვევაში, ამოცანა დაიყვანება ვაკუუმში მოთავსებული $\xi = \varepsilon/\varepsilon_m$ ფარდობითი დიელექტრიკული შეღწევადობის ნაწილაკის პოლარიზაციის კოეფიციენტის განსაზღვრაზე [4].

თუ (12) ფორმულაში ε შევცვლით $\xi = \varepsilon/\varepsilon_m$ ფარდობითი დიელექტრიკული შეღწევადობით, მივიღებთ, რომელიმე ($i = a, b, c$) მთავარი ღერძის მიმართულებით, ε_m დიელექტრიკული შეღწევადობის მატრიცაში მოთავსებული, ε დიელექტრიკული შეღწევადობისა და V მოცულობის ელიფსოიდის პოლარიზაციის კოეფიციენტის გამოსათვლელ შემდეგ გამოსახულებას

$$\alpha_i = \frac{1}{4\pi} \frac{\varepsilon - \varepsilon_m}{\varepsilon_m + f_i(\varepsilon - \varepsilon_m)}. \quad (13)$$

ნანოკომპოზიტის ეფექტური დიელექტრიკული შეღწევადობა

განვიხილოთ მრავალკომპონენტიანი ნანოკომპოზიტური სტრუქტურა, რომელიც შედგება ε_m შეღწევადობის დიელექტრიკში (მატრიცაში) ქაოსურად განაწილებული ანიზოტროპული ფორმის ნანო ნაწილაკებისაგან (ჩანართები). დავახარისხოთ ნაწილაკები ε_i ($i=1,2,3, \dots, n$) დიელექტრიკული შეღწევადობების მიხედვით. ამ შემთხვევაშიც ამოცანა დაიყვანება ვაკუუმში მოთავსებული $\xi_i = \varepsilon_i/\varepsilon_m$ ფარდობითი დიელექტრიკული შეღწევადობის ნაწილაკთა იგივე ანსამბლის ეფექტური დიელექტრიკული შეღწევადობის $\xi_{ef} = \varepsilon_{ef}/\varepsilon_m$ განსაზღვრაზე.

ვთქვათ, ნაწილაკებს აქვთ ერთნაირი ელიფსოიდალური ფორმა და ორიენტირებულნი არიან ერთი მიმართულებით, ხოლო გარემოზე მოქმედი გარე $\vec{E}_0$ ველი მიმართულია ელიფსოიდების რომელიმე, მთავარი ღერძის მიმართულებით. მაშინ ადგილი ექნება ნაწილაკების თანაბარ პოლარიზაციას. პოლარიზებული ნაწილაკების მიერ შექმნილი დეპოლარიზაციის ველის $\vec{E}_d$ საშუალო მნიშვნელობის გამოთვლისათვის, როცა ნაწილაკები არიან მათივე ფორმისა და ორიენტაციის ელიფსოიდალურ სიცარიელეში, მივიღებთ [13]:

$$\vec{E}_d = 4\pi f \vec{P} \quad (14)$$

სადაც, f - ველის მიმართულებით ელიფსოიდის დეპოლარიზაციის ფაქტორია.

ნაწილაკებზე მოქმედი ლოკალური $\vec{E}_L$ ველის საშუალო მნიშვნელობა, $\vec{E}_0$ და $\vec{E}_d$ ველების საშუალო მნიშვნელობების ჯამის ტოლია, მიმართულია ელიფსოიდების მთავარი ღერძის მიმართულებით და გამოისახება ფორმულით:

$$\vec{E}_L = \vec{E}_0 + 4\pi f \vec{P} \quad (15)$$

თუ მოცემული გარემოს დიელექტრიკული ამთვისებლობაა χ_{ef} , მაშინ

$$\vec{P} = \chi_{ef} \vec{E}_L \quad (16)$$

და

$$\xi_{ef} = 1 + 4\pi \chi_{ef} \quad (17)$$

ξ_i შეღწევადობის ელიფსოიდალური ნაწილაკების პოლარიზაციის კოეფიციენტი განისაზღვრება (13) ფორმულით

$$\alpha_i = \frac{1}{4\pi} \frac{\xi_i - 1}{1 + f(\xi_i - 1)} \quad (18)$$

სადაც, f ველის მიმართულებით ელიფსოიდის ფორმის ფაქტორია. თუ ε_i ($i=1,2,3, \dots, n$) დიელექტრიკული შეღწევადობების მქონე ნაწილაკების კონცენტრაციებია n_i , მოცულობები - V_i , მაშინ $\vec{E}_L$ ველის მოქმედებით ξ_i შეღწევადობის ნაწილაკების დიპოლური მომენტი $\vec{p}_i = V_i \alpha_i \vec{E}_L$, ხოლო პოლარიზაციის ვექტორი ანუ ერთეულოვან მოცულობაში მოთავსებული ნაწილაკების დიპოლური მომენტების ჯამი:

$$\vec{P} = \sum n_i V_i \alpha_i \cdot \vec{E}_L \quad (19)$$

(15), (16), (17), (18) და (19) ფორმულებიდან ვღებულობთ:

$$\frac{\xi_{ef} - 1}{1 + f(\xi_{ef} - 1)} = \sum q_i \cdot \frac{\xi_i - 1}{1 + f(\xi_i - 1)} \quad (20)$$

სადაც, $q_i = n_i V_i$ არის i კომპონენტის ნაწილაკების მოცულობითი წილი, ანუ მოცულობითი შევსების კოეფიციენტი.

(620)-ში, $\xi_i = \varepsilon_i / \varepsilon_m$ და $\xi_{ef} = \varepsilon_{ef} / \varepsilon_m$ შეცვლით, გარემოს ეფექტური დიელექტრიკული შეღწევადობის გამოსათვლელი ფორმულა ასე ჩაიწერება:

$$\frac{\varepsilon_{ef} - \varepsilon_m}{\varepsilon_d + f(\varepsilon_{ef} - \varepsilon_m)} = \sum q_i \cdot \frac{\varepsilon_i - \varepsilon_m}{\varepsilon_d + f(\varepsilon_i - \varepsilon_m)} \quad (21)$$

(21) წარმოადგენს მაქსველ-გარნეტის ეფექტური გარემოს მოდელის განზოგადებულ ფორმულას მრავალკომპონენტური ნანოდისპერსული გარემოსთვის ანიზოტროპული ფორმის შემადგენელი ნაწილაკებით. ერთკომპონენტური ნანოკომპოზიტისთვის ვღებულობთ

$$\varepsilon_{ef} = \varepsilon_m \left(1 + \frac{q(\varepsilon - \varepsilon_m)}{\varepsilon_m + f(1 - q)(\varepsilon - \varepsilon_m)} \right) \quad (22)$$

ეფექტური დეპოლარიზაციის ფაქტორი

ქაოსურად ორიენტირებული ელიფსური ფორმის ნაწილაკების, შემთხვევაში უნდა ვისარგებლოთ მთავარი ღერძების მიმართულებით ელიფსოიდის პოლარიზებულობის საშუალო მნიშვნელობით

$$\bar{\alpha}_l = \frac{1}{3} \sum \alpha_i = \frac{1}{3} \sum \frac{1}{4\pi} \cdot \frac{\varepsilon - \varepsilon_m}{\varepsilon_m + f_i(\varepsilon - \varepsilon_m)} = \frac{1}{12\pi} \sum \frac{\xi - 1}{1 + f_i(\xi - 1)} \quad (23)$$

ვნახოთ, შეიძლება თუ არა ელიფსოიდის პოლარიზებულობის საშუალო მნიშვნელობის განსაზღვრა ეფექტური ფორმის ფაქტორის f_{ef} -ის შემოტანით. თუ ეს შესაძლებელია, მაშინ f_{ef} მნიშვნელობა უნდა იყოს მოთავსებული $[0;1]$ შუალედში და უნდა შესრულდეს თანაფარდობა

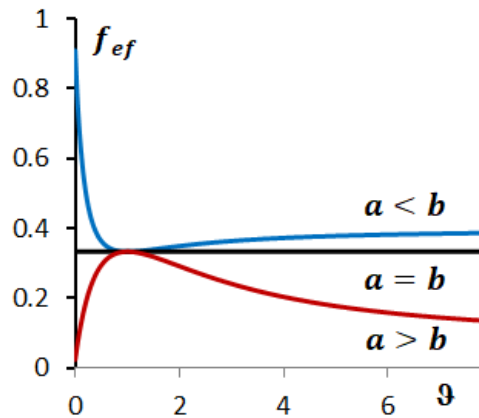
$$\bar{\alpha}_l = \frac{1}{4\pi} \frac{\varepsilon - \varepsilon_m}{\varepsilon_m + f_{ef}(\varepsilon - \varepsilon_m)} = \frac{1}{4\pi} \frac{\xi - 1}{1 + f_{ef}(\xi - 1)} \quad (24)$$

(21) და (22) ფორმულებიდან სფეროიდისათვის ($f_b = f_c \neq f_a$) ვღებულობთ

$$f_{ef} = \frac{1}{\xi - 1} \cdot \left(\frac{3 \cdot (1 + (\xi - 1)f_a)(1 + (\xi - 1)f_b)}{3 + (\xi - 1)(2f_a + f_b)} - 1 \right) \quad (25)$$

მაშასადამე, ეფექტური ფორმის ფაქტორი განისაზღვრება ნაწილაკისა და ნაწილაკის ირგვლივ გარემოს ფარდობითი $\xi = \varepsilon/\varepsilon_m$ დიელექტრიკული შეღწევადობით და დამოკიდებულია სფეროიდის $\vartheta = \frac{a}{b}$ მთავარი ღერძების ფარდობაზე.

სურ. 4-ზე გამოსახულია f_{ef} -ის დამოკიდებულება ξ ფარდობით დიელექტრიკული შეღწევადობაზე, $\vartheta = \frac{a}{b}$ პარამეტრის $a > b$, $a = b$ და $a < b$ მნიშვნელობებისას.



სურ. 4. f_{ef} -ის დამოკიდებულება ξ ფარდობით დიელექტრიკული შეღწევადობაზე

როგორც სურ. 4-დან ჩანს ეფექტური დეოლარიზაციის ფაქტორის მნიშვნელობაც ყოველთვის მოთავსებულია 0-1 შუალედში. ეს გვამღებს იმის მტკიცების საშუალებას, რომ ანიზოტროპული ფორმის ნანონაწილაკების ანსამბლი შეიძლება შეიცვალოს გარე ელექტრული ველის მიმართ ერთნაირად ორიენტირებული f_{ef} დეპოლარიზაციის ფაქტორის მქონე ნანონაწილაკების ანსამბლით. ეფექტური დეოლარიზაციის ფაქტორის შემოტანის შემდეგ (22) ჩაიწერება შემდეგი სახით

$$\varepsilon_{ef} = \varepsilon_m \left(1 + \frac{q(\varepsilon - \varepsilon_m)}{\varepsilon_m + f_{ef}(1 - q)(\varepsilon - \varepsilon_m)} \right) \quad (26)$$

როგორც (26)-დან q , ε და ε_m პარამეტრების მოცემული მნიშვნელობების დროს, როცა $f_{ef} = 0$

$$\varepsilon_{ef} = q\varepsilon + (1 - q)\varepsilon_m, \quad (27)$$

ხოლო როცა $f_{ef} = 1$ ვღებულობთ

$$\frac{1}{\varepsilon_{ef}} = \frac{q}{\varepsilon} + \frac{1 - q}{\varepsilon_m} \quad (28)$$

(27) და (28) ფორმულებით განისაზღვრება სისტემის ეფექტური დიელექტრიკული შეღწევადობის მაქსიმალური და მინიმალური მნიშვნელობები, მისი ნებისმიერი კონფიგურაციისას.

3. შედეგები

მიღებულია მრავალკომპონენტური ელიფსური ფორმის ნანონაწილაკებისაგან შედგენილი დისპერსული სტრუქტურების ეფექტური დიელექტრიკული შეღწევადობის გამოსათვლელი ფორმულა. ნაჩვენებია, რომ თუ ნაწილაკები ორიენტირებული არიან ქაოსურად, მაშინ სისტემის პოლარიზაციის ვექტორის საშუალო მნიშვნელობის გამოთვლა დაიყვანება ეფექტური ფორმის ფაქტორის f_{ef} შემოტანაზე. აქედან გამომდინარე, ქაოსურად ორიენტირებული ელიფსოიდალური ფორმის ნანონაწილაკების სისტემა შეიძლება შევცვალოთ ერთნაირი ფორმის ნაწილაკების სისტემით, რომელთა ფორმის ფაქტორი f_{ef} -ის ტოლია. მიღებულია მოცემული ნანოკომპოზიტური სისტემის ეფექტური დიელექტრიკული შეღწევადობის მაქსიმალური და მინიმალური მნიშვნელობების გამოსათვლელი ფორმულები სისტემის ნებისმიერი კონფიგურაციისათვის.

კვლევა განხორციელდა სსიპ შოთა რუსთაველის საქართველოს ეროვნული სამეცნიერო ფონდის მხარდაჭერით [№ FR-24-3101]

გამოყენებული ლიტერატურა:

- [1] Maxwell Garnett, J.C. Colours in metal glasses and in metallic films. Phil. Trans. R. Soc. Lond. A 203 (1904) 385–420.
- [2] Petrov Yu. I. physics of small particles, M., Nauka, 1982, p.360
- [3] [Tuck C. Choy](#), Effective Medium Theory: Principles and Applications (2nd edn); Oxford University Press, (2015)
- [4] Lali Kalandadze, Omar Nakashidze, Influence of the size, shape and concentration of magnetic particles on the optical properties of nano-dispersive structures, Journal of Magnetism and Magnetic Materials, V. 500, (2020) <https://doi.org/10.1016/j.jmmm.2019.166355>
- [5] [L. Kalandadze, O. Nakashidze, N. Gomidze and I. Jabnidze, "Theoretical and Experimental Investigation of the Optical Properties of Nano nickel Films," 2019 IEEE 8th International Conference on Advanced Optoelectronics and Lasers \(CAOL\), Sozopol, Bulgaria, 2019, pp. 1-4, doi: 10.1109/CAOL46282.2019.9019538](#)
- [6] Jeeban Kumar Nayak, Partha Roy Chaudhuri, Satyajit Ratha & Mihir Ranjan Sahoo; A comprehensive review on effective medium theories to find effective dielectric constant of composites, Journal of Electromagnetic Waves and Applications, 37:2, (2023) 282–322, DOI: 10.1080/09205071.2022.2135029
- [7] Nakashidze O. and Kalandadze L. Influence of Shape of Magnetic Particles on the Magneto-Optical and optical Properties of the nano-dispersive cobalt. 2016IEEE 7th international conference on Advanced Optoelectronics and Lasers; 2016, pp. 17-20
- [8] Michael Morales-Luna and Gesuri Morales-Luna; Effective medium theory and its limitations for the description of MoO₃ films doped with nanoparticles; J. Phys.: Condensed Matter 35 065001, (2023) DOI 10.1088/1361-648X/aca30d
- [9] Mohamad Yunos, Nurhazirah and Ahmad Khairuddin, Taufiq Khairi and Shafie, Sharidan and Ahmad, Tahir and William, Lionheart; The depolarization factors for ellipsoids and some of their properties. Malaysian Journal of Fundamental and Applied Sciences, 15 (6). (2019) pp. 784-789.
- [10] Lali Kalandadze, Omar Nakashidze, Nugzar Gomidze and Izolda Jabnidze; Influence of the size, shape and concentration of magnetic particles on the optical properties of nano nickel films; J. Nanotechnology Perceptions, vol.17; (3), 2021 <https://nano-ntp.com/index.php/nano/article/view/204>

- [11] M S Mirmoosa et al; Dipole polarizability of time-varying particles; New J. Phys. V.24 (2022) 063004 DOI 10.1088/1367-2630/ac6b4c
- [12] Jin Miao; Ming Dong; Ming Ren; Xuezhou Wu; Liangping Shen; Hao Wang; Effect of nanoparticle polarization on relative permittivity of transformer oil-based nanofluids; Journal of Applied Physics 113, 204103 (2013) <https://doi.org/10.1063/1.4807297>
- [13] R. W. Cohen, G. D. Cody, M. D. Coult, and B. Abeles, "Optical properties of Silver and Gold Films," Phys. Rev. B8, 3689-3701 (1973)
- [14] Landau L.D., Lifshitz E.M. Electrodynamics of continuous media, M., Nauka, 1982, 621s.

Determination of the effective permittivity of nanocomposite structures

Omar Nakashidze, Lali Kalandadze, Nugzar Gomidze

Batumi Shota Rustaveli State University

omar.nakashidze@bsu.edu.ge, lali.kalandadze@bsu.edu.ge, gomidze@bsu.edu.ge

Abstract

This article examines a multicomponent nanodispersed structure consisting of randomly oriented ellipsoidal nanoparticles in a matrix with permittivity ϵ_m . Formulas for calculating the effective permittivity of such a structure are derived. It is shown that calculating the average particle polarization value is reduced to introducing the effective value of the depolarization factor. The dependence of the effective permittivity of a single-component nanostructure on its structural parameters is studied.

Keywords: nanodispersed structure, effective medium approximation, depolarization coefficient, effective permittivity

ბეტონის სიმტკიცის ზღვრის შესწავლა გაჭიმვაზე მყარი ტანის ცოცვადობის ბუნების ადსორბციული თეორიის პოზიციიდან

თემურ თურმანიძე, თეიმურაზ ჯოჯუა

ბათუმის შოთა რუსთაველის სახელმწიფო უნივერსიტეტი

temur.turmanidze@bsu.edu.ge, teimuraz.jojua@bsu.edu.ge

რეზიუმე

ნაშრომის მიზანი იყო შეგვესწავლა თუ რა როდენობრივი და თვისობრივი დამოკიდებულება არსებობს ბეტონის გაჭიმვისა და კუმშვის სიმტკიცის ზღვრებს შორის მყარი ტანის ცოცვადობის ბუნების ადსორბციული თეორიის პოზიციიდან.

აღნიშნული თეორიის მიხედვით ბეტონის ცოცვადობა განპირობებულია მუდმივი გარე ძალისა და წყლის, როგორც ზედაპირულად აქტიური ნივთიერების გამხლეჩი ზემოქმედების შედეგად წარმოქმნილი დამატებითი ძაბვისაგან.

ბეტონის ცოცვადობის ადსორბციული თეორია არ ითვალისწინებს სხვა შეხედულებას ბეტონის ცოცვადობის შესახებ, რომელიც დამყარებულია ცემენტის ქვის თვისებებზე, კერძოდ კრისტალურ წარმონაქმნს (ცემენტის ქვის დრეკადი შემადგენელი) და გელს (ცემენტის ქვის პლასტიკური შემადგენელი) შორის ძაბვების გადანაწილების თეორიულ ჰიპოთეზას.

ადსორბციული თეორიის საფუძველზე აგებული ბეტონის მდგომარეობის დიაგრამის უნივერსალური გრაფიკის მიხედვით თავისუფალი (ხახუნის აცილებისას) და შეზღუდული დეფორმირების დროს დადგენილია, რომ ბეტონის ზღვრული დეფორმაცია ε_{lim} , დრეკადობის მოდული E და პუასონის (განივი გაფართოების) კოეფიციენტი μ მუდმივია.

სამეცნიერო წყაროებში არსებული მასალებისა და ჩატარებული ექსპერიმენტების ანალიზმა გვიჩვენა, რომ შეუქცევადი მიკრობზარების გაჩენის საზღვარზე კუმშვის (განივი გაჭიმვის) დეფორმაციის მნიშვნელობა ბეტონის შეუზღუდავი დეფორმაციის დროს - ხახუნის ძალის აცილებისას დაახლოებით ტოლია ბეტონის ცენტრალური გაჭიმვის ზღვრული მნიშვნელობისა.

ექსპერიმენტულ-თეორიული კვლევის საფუძველზე შემოთავაზებულია ბეტონის გაჭიმვისა და კუმშვის სიმტკიცის ზღვრებს შორის დამოკიდებულება $R_{გაჭ} = \mu R_{კუმშ}$.

საკვანძო სიტყვები: ბეტონის სიმტკიცე, ცოცვადობა, განივი გაფართოება, ხანგრძლივი სიმტკიცე

1. შესავალი

ახალი ეფექტური მასალებისა და კონსტრუქციების განვითარების მიუხედავად ბეტონი და რკინაბეტონი მშენებლობის პრაქტიკაში დამკვიდრდა როგორც ძირითადი კონსტრუქციული საშენი მასალა. ბეტონისა და რკინაბეტონის თვისებები უნდა შეესაბამებოდეს მშენებლობისა და ექსპლუატაციის თვისებებს რათა უზრუნველყოფილი იქნას კონსტრუქციის საიმედოობა და ხანგამძლეობა ისე, რომ სრულად იყოს გამოყენებული მათი შესაძლებლობები.

ნაშრომში ძირითადი ყურადღება დათმობილი აქვს ბეტონის სიმტკიცისა და დეფორმაციის საშუალო და არა ლოკალური მონაცემების განზოგადობას რღვევასთან ახლო არეში. განხილულია ბეტონის სტრუქტურული ცვლილებები მისი თავისუფალი და შეზღუდული

დეფორმირების დროს. ადსორბციული თეორიის საფუძველზე შეფასებულია ბეტონის მიკრობზარების წარმოქმნის კინეტიკა და სიმტკიცის პარამეტრებს შორის დამოკიდებულება.

საერთოდ, ბეტონის სიმტკიცე მისი ნებისმიერი სახის დატვირთვისას - კუმშვა, გაჭიმვა, ღუნვა თუ სხვა, როგორც მყიფე მასალისა განისაზღვრება მისი წინააღმდეგობით გაჭიმვაზე.

2. ძირითადი ნაწილი

თეორიაში და პრაქტიკაში ბეტონის წინააღმდეგობა გაჭიმვაზე განისაზღვრება ბეტონის ზღვრული გაჭიმვით ძალის მოქმედების მიმართულებით, ხოლო ბეტონის სიმტკიცე კუმშვაზე კი - მისი ზღვრული გაჭიმვით ძალის მოქმედების ნორმალის მიმართულებით. ამიტომ განსაკუთრებულ მნიშვნელობას იძენს ბეტონის სიმტკიცის ზღვარი გაჭიმვაზე, რომლის მიღება პირდაპირი ექსპერიმენტით რთულია, რაც გვაიძულებს მისი არაპირდაპირი გზით დადგენას - გახლეჩით, ღუნვით, გადამყვანი კოეფიციენტების გამოყენებით.

ჩვენი სამუშაოს მიზანი იყო შეგვესწავლა თუ რა რაოდენობრივი და თვისობრივი დამოკიდებულება არსებობს ბეტონის გაჭიმვისა და კუმშვის სიმტკიცის ზღვრებს შორის მყარი ტანის ცოცვადობის ბუნების ადსორბციული თეორიის პოზიციიდან, რომლის მიხედვით, ბეტონის ცოცვადობა განპირობებულია მუდმივი გარე ძალისა და წყლის, როგორც ზედაპირულად აქტიური ნივთიერების გამხლეჩი ზემოქმედების შედეგად წარმოქმნილი დამატებითი ძაბვისაგან. აღნიშნული თეორია არ ითვალისწინებს სხვა შეხედულებას ბეტონის ცოცვადობის შესახებ, რომელიც დამყარებულია ცემენტის ქვის თვისებებზე, კერძოდ კრისტალურ წარმონაქმნს (ცემენტის ქვის დრეკადი შემადგენელი) და გელს (ცემენტის ქვის პლასტიკური შემადგენელი) შორის ძაბვების გადანაწილების თეორიულ ჰიპოთეზას. ადსორბციული თეორიის საფუძველზე აგებული ბეტონის მდგომარეობის დიაგრამის უნივერსალური გრაფიკის მიხედვით თავისუფალი და შეზღუდული დეფორმირების დროს დადგენილია, რომ ბეტონის ზღვრული დეფორმაცია ε_{lim} , დრეკადობის მოდული E და პუასონის (განივი გაფართოების) კოეფიციენტი μ მუდმივია.

ჩატარებული ექსპერიმენტების ანალიზმა გვიჩვენა, რომ შეუქცევადი მიკრობზარების გაჩენის საზღვარზე კუმშვის (განივი გაჭიმვის) დეფორმაციის მნიშვნელობა ბეტონის შეუზღუდავი დეფორმაციის დროს - ხახუნის ძალის აცილებისას დაახლოებით ტოლია ბეტონის ცენტრალური გაჭიმვის ზღვრული მნიშვნელობისა.

აღნიშნულიდან გამომდინარე ჩვენ შეგვიძლია მივიღოთ სიმტკიცის პირობა შემდეგი ტოლობით:

გაჭიმვისას

$$\varepsilon = \frac{R_{გაჭ}}{E} \leq \varepsilon_0 \quad (1)$$

კუმშვისას

$$\varepsilon = \mu \frac{R_{კუმშ}}{E} \leq \varepsilon_0 \quad (2)$$

ზღვრულ მდგომარეობაში

$$\mu \frac{R_{კუმშ}}{E} = \frac{R_{გაჭ}}{E} = \varepsilon_0 \quad (3)$$

აქედან

$$R_{კუმშ} = \frac{\varepsilon_0}{\mu} E \quad (4)$$

და

$$R_{გაჭ} = \mu R_{კუმშ} \quad (5)$$

3. დასკვნა

მიღებული შედეგები საშუალებას გვაძლევს დავასკვნათ, რომ სიმტკიცის ზღვარი გაჭიმვისას $R_{გაჭ}$ შეიძლება მივიღოთ იმ შემთხვევაში თუ შესაბამისი ბეტონი გამოიცდება ცენტრალურ კუმშვაზე ხახუნის ძალის აცილებით და გამოითვლება (5) ფორმულით, სადაც $R_{კუმშ}$ - ბეტონის სიმტკიცის ზღვარია კუმშვაზე ხახუნის ძალის გარეშე, μ - პუასონის (განივი გაფართოების) კოეფიციენტი.

გამოყენებული ლიტერატურა:

1. Temur Turmanidze, Zurab megrelishvili, David Chkhaidze "Studying the Relationship between Concrete Stresses and Deformations, Taking into Account its Strength, Age, Hardening Conditions and Loading Speed" Bulletin of the Georgian national academy of sciences, vol. 17, no. 2, 2023
2. Turmanidze T. Mathematical model of dependence between pressure and deformation of concrete and its computer software. Materials of XXXII international conference PROBLEMS OF DECISION MAKING UNDER UNCERTAINTIES (PDMU-2018). p. 27-31, 2018, Prague, Czech Republic;
3. Turmanidze T. O. Investigation of the relationship between tension and deformation of concrete considering the factors of operating conditions and its computer software. Materials of the VI International Scientific Conference MMOTI 225-228. Moldova, Chişinău 2018
4. Т. О. Турманидзе, Г. Н. Путкарадзе „Исследование зависимости между напряжением и деформацией с позиций адсорбционной теории“. Материалы XXVII Международной научно-практической конференций стр. 241-242. Международный университет МИТСО г. Гомель, республика Беларусь 2023г
5. T. Turmanidze, GONSTRUCTION ENGINEERING "Influence of loading rate on the strength of monolithic concrete, taking into account the age of the structure and during hardening" "Transactions" of the Adjara Autonomous Republic Regional Scientific Centre of the Georgian National Academy of Sciences, Vol. VIII. pp. 60-65, 2022;
6. Турманидзе Темур, "Математическая модель зависимости между напряжением и деформацией бетона с учетом факторов действующих эксплуатационных условий" Materials of the VIII International Scientific and practical Conference "Development of accounting, audit and taxation in the conditions of innovative transformation of socio-economic systems" p. 341-345 Kropyvnytskyi, Ukraine, 2020.
7. Turmanidze T. O. Strength of concrete from the positions of adsorption and its computer software. Materials of the XXXI International Conference 127-128 Lankaran-Baku, Republic of Azerbaijan. 2018
8. T. Turmanidze "Long-term strength of concrete from the positions of adsorption theories of creep of solids and its computer software" Science IS THE EARTH OF EDUCATION. Materials of the XXVI International Scientific Conference. Ukraine, Zaporozhye 2017;
9. Турманидзе Т., Дидманидзе И. Математическая модель для прогнозирования длительной прочности бетона //Международный технико-экономический журнал. М. 2010. – №. 1. Стр. 43-45. Россия, Москва 2010;
10. Т. Турманидзе, Г. Путкарадзе "Математическая модель комплексного влияния эксплуатационных условий на прочность бетона." 13th International conference THEORETICAL AND APPLIED ASPECT OF PROGRAM SYSTEMS DEVELOPMENT. TAAPSD 2016. Proceeding. p. 301-309. Ukraine Kiev. 2016;

Study of the ultimate strength of concrete in tension from the standpoint of the adsorption theory of the nature of creep of solid bodies

Temur Turmanidze, Teimuraz Jojua

Batumi Shota Rustaveli State University

temur.turmanidze@bsu.edu.ge, teimuraz.jojua@bsu.edu.ge

Abstract

The aim of the article was to study the quantitative and qualitative relationship between the tensile and compressive strength limits of concrete from the standpoint of the adsorption theory of the nature of creep in solids.

According to this theory, the creep of concrete is due to the additional stress generated by the constant external force and the creeping effect of water as a surfactant.

The adsorption theory of concrete creep does not take into account another view of concrete creep, which is based on the properties of cement stone, namely the crystalline formation (the elastic component of cement stone) and the gel. (plastic component of cement stone) theoretical hypothesis of stress distribution between.

According to the universal graph of the concrete state diagram constructed on the basis of adsorption theory, during free (frictionless) and limited deformation It is established that the ultimate deformation of concrete ε_{lim} , the modulus of elasticity E , and the Poisson's (transverse expansion) ratio μ are constant.

Analysis of materials available in scientific sources and conducted experiments showed us that the value of the compression (transverse tension) deformation at the boundary of the occurrence of irreversible microcracks during unconfined deformation of concrete - when the friction force is eliminated - is approximately equal to the limiting value of the central tension of concrete.

Based on experimental-theoretical research, the relationship between the tensile and compressive strength limits of concrete is proposed $R_{bt} = \mu R_b$

The obtained results allow us to conclude that the ultimate tensile strength R_{bt} can be obtained if the corresponding concrete is tested in central compression with the friction force eliminated and is calculated by the formula, according to the formula, where R_b is the ultimate strength of concrete in compression without frictional force, μ is Poisson's (transverse expansion) ratio.

Keywords: concrete strength, creep, transverse expansion, long-term strength

$\Sigma_1(X, 2)$ კლასის ნახევარმესერებით განსაზღვრული ბინარულ მიმართებათა სრული ნახევარჯგუფების დაუყვანადი წარმომქმნელი სისტემები

ომარ გივრადე, ალექსანდრე ბაკურიძე, თენგიზ დიდმანიძე

ბათუმის შოთა რუსთაველის სახელმწიფო უნივერსიტეტი

omar.givradze@bsu.edu.ge, a.bakuridze@bsu.edu.ge

რეზიუმე

მოცემულ ნაშრომში განხილულია $\Sigma_1(X, 2)$ კლასის D გაერთიანებათა სრული X –ნახევარ-მესერებით განსაზღვრული ბინარულ მიმართებათა სრული $B_X(D)$ ნახევარჯგუფების წარმომქმნელი სისტემები.

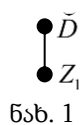
საკვანძო სიტყვები: ნახევარმესერი, ნახევარჯგუფი, ბინარული მიმართება

1. შესავალი

ვთქვათ X არაცარიელი სიმრავლეა, D არის გაერთიანებათა სრული X -ნახევარმესერი, f არის ასახვა X სიმრავლისა D -ში. მაშინ ყოველი ასეთი f ასახვისათვის X სიმრავლეზე განისაზღვრება α_f ბინარული მიმართება, რომელიც აკმაყოფილებს შემდეგ პირობას $\alpha_f = \bigcup_{x \in X} (\{x\} \times f(x))$. ყველა ასეთ α_f ბინარულ მიმართებათა სიმრავლე ($f: X \rightarrow D$) აღინიშნება $B_X(D)$ სიმბოლოთი. ადვილად მტკიცდება, რომ $B_X(D)$ წარმოადგენს ნახევარჯგუფს ბინარულ მიმართებათა გამრავლების ოპერაციის მიმართ, რომელსაც ეწოდება D გაერთიანებითა სრული X -ნახევარმესერით განსაზღვრული ბინარულ მიმართებათა სრული ნახევარჯგუფი.

მეთოდოლოგია. ნაშრომში გამოყენებულია როგორც ნახევარჯგუფთა კვლევის ზოგადი მეთოდები, ასევე ბინარულ მიმართებათა და ნახევარმესერთა კვლევის მეთოდები.

ვთქვათ $\Sigma_1(X, 2)$ არის გაერთიანებათა X –ნახევარმესერთა ისეთი კლასი, რომლის ყოველი ელემენტი იზომორფულია $D = \{Z_1, \bar{D}\}$ გაერთიანებათა სრული X –ნახევარმესერისა, რომელიც აკმაყოფილებს პირობას $Z_1 \subset \bar{D}$ (იხ, ნახ, 1).



ნახ. 1

ვთქვათ $C(D) = \{P_0, P_1\}$, სადაც

$$P_0, P_1 \subset X, P_0 \cap P_1 = \emptyset \text{ და } \varphi = \begin{pmatrix} \bar{D} & Z_1 \\ P_0 & P_1 \end{pmatrix}$$

წარმოადგენს ასახვას D ნახევარმესერისა $C(D)$ სიმრავლეზე. მაშინ D ნახევარ-მესერის ფორმალურ ტოლობებს ექნებათ შემდეგი სახე:

$$\bar{D} = P_0 \cup P_1, \quad Z_1 = P_0, \quad (1)$$

სადაც P_1 არის D ნახევარმესერის ბაზისური წყარო, P_0 კი სისავსის წყარო. გამომდინარე აქედან $|X| \geq 1$.

ლემა 1. ვთქვათ $D = \{Z_1, \bar{D}\} \in \Sigma_1(X, 2)$, $B = \{\alpha \in B_X(D) | V(X^*, \alpha) = D\}$. თუ $B \neq \emptyset$, მაშინ B არის $B_X(D)$ ნახევარჯგუფის გარე ელემენტთა სიმრავლე.

დამტკიცება. ვთქვათ $D = \{Z_1, \bar{D}\} \in \Sigma_1(X, 2)$, $\alpha \in B$ და $\alpha = \delta \circ \beta$ რომელიდან $\delta, \beta \in B_X(D) \setminus \{\alpha\}$ –თვის. მაშინ δ ელემენტის კვაზინორმალურ წარმოდგენას ექნება შემდეგი სახე: $\delta = (Y_1^\delta \times Z_1) \cup (Y_0^\delta \times \bar{D})$, ე. ი. $Y_1^\delta \cup Y_0^\delta = X$ და $Y_1^\delta \cap Y_0^\delta = \emptyset$. შესაბამისად მივიღებთ $\alpha = \delta \circ \beta = \delta \circ \bar{\beta}$, სადაც $\bar{\beta}$ წარმოადგენს β ბინარული მიმართების სუბკვაზინორმალურ წარმოდგენას. მარტივად დასაანახია, რომ

$$\alpha = \delta \circ \bar{\beta} = (Y_1^\delta \times Z_1 \bar{\beta}) \cup (Y_0^\delta \times \bar{D} \bar{\beta}) \quad (2)$$

$\alpha = \delta \circ \bar{\beta}$ ტოლობიდან გამომდინარეობს, რომ $D = V(X^*, \alpha) \subseteq V(D, \bar{\beta})$, ასე რომ $D = V(D, \bar{\beta})$.

დაშვების თანახმად $\alpha \in B$, ე.ი. არსებობს α ელემენტის კვაზინორმალური წარმოდგენა, რომელსაც აქვს შემდეგი სახე: $\alpha = (Y_1^\alpha \times Z_1) \cup (Y_0^\alpha \times \bar{D})$, სადაც $|Y_i^\alpha| \geq 1$ ნებისმიერი $i = 0, 1$, რადგანაც $\alpha \in B$ (თუ $Y_j^\delta = \emptyset$ რომელიმე j ($0 \leq j \leq 1$), მაშინ $V(X^*, \alpha) \neq D$), ე.ი. $|X| \geq 2$.

Z_1 ელემენტისათვის განვიხილოთ შემდეგი შემთხვევები:

a) $Z_1 = \emptyset$. ამ შემთხვევაში გვქნება, რომ $P_0 = \cap D = \emptyset$, ხოლო $\gamma_1 = \begin{pmatrix} \emptyset & P_1 \\ \emptyset & \emptyset \end{pmatrix}$, $\gamma_2 = \begin{pmatrix} \emptyset & P_1 \\ \emptyset & \bar{D} \end{pmatrix}$ არიან $\{\emptyset, P_1\}$ სიმრავლის ყველა შესაძლო ასახვები D ნახევარმესერში, რომლებიც აკმაყოფილებენ პირობას: $\gamma_i(\emptyset) = \emptyset$ ($i = 1, 2$).

თუ $X = \bar{D}$, მაშინ (1) ფორმალური ტოლობებიდან გამომდინარეობს, რომ $\emptyset \cup P_1 = \bar{D}$. ამ შემთხვევაში $P_0 = \emptyset$, $P_1 = \bar{D}$, $X \setminus \bar{D} = \emptyset$, $\bar{\beta} = (\emptyset \times \emptyset) \cup (P_1 \times \bar{D}) \cup \emptyset = X \times \bar{D}$. მარტივი დასაწახია, რომ $V(D, \bar{\beta}) = D$ და $\alpha = \delta \circ \bar{\beta} = ((Y_1^\delta \times Z_1) \cup (Y_0^\delta \times \bar{D})) \circ (X \times D) = ((Y_1^\delta \times Z_1) \circ (X \times D)) \cup ((Y_0^\delta \times \bar{D}) \circ (X \times D)) = (Y_1^\delta \times \bar{D}) \cup (Y_0^\delta \times \bar{D}) = X \times \bar{D} \notin B$, ვინაიდან $V(X^*, \alpha) = \{\bar{D}\} \neq D$. ასე, რომ $X \neq \bar{D}$.

შემდეგში ნაგულისხმებია, რომ $|X \setminus \bar{D}| \geq 1$.

γ_i ($i = 1, 2$) ბინარული მიმართებებისთვის განვიხილოთ შემდეგი შემთხვევები.

ვთქვათ, $\gamma_1 = \begin{pmatrix} \emptyset & P_1 \\ \emptyset & \emptyset \end{pmatrix}$. (1) ფორმალური ტოლობებიდან გამომდინარეობს, რომ $P_1 = \bar{D} \neq \emptyset$.

თუ $\bar{\gamma}_1$ არის $X \setminus \bar{D}$ სიმრავლის ასახვა $D \setminus \{\emptyset\} = \{\bar{D}\}$ სიმრავლეზე (ზემოთ აღნიშნულის თანახმად $|X \setminus \bar{D}| \geq 1$), მაშინ

$$\bar{\beta} = (P_1 \times \emptyset) \cup \bigcup_{t' \in X \setminus \bar{D}} (\{t'\} \times \bar{\gamma}_1(t')) \quad (3)$$

$V(D, \bar{\beta}) = D$ და ფორმალური (1) ტოლობიდან და (2), (3) ტოლობებიდან $V(X^*, \alpha) = \{\emptyset\} \neq D$ პირობის გათვალისწინებით გამომდინარეობს, რომ $Z_1 \bar{\beta} = \emptyset \bar{\beta} = \emptyset$, $\bar{D} \bar{\beta} = \emptyset \bar{\beta} \cup P_1 \bar{\beta} = \emptyset \cup \emptyset = \emptyset$, $\alpha = \delta \circ \bar{\beta} = (Y_1^\delta \times Z_1 \bar{\beta}) \cup (Y_0^\delta \times \bar{D} \bar{\beta}) = (Y_1^\delta \times \emptyset) \cup (Y_0^\delta \times \emptyset) = X \times \emptyset = \emptyset \notin B$.

ვთქვათ $\gamma_2 = \begin{pmatrix} \emptyset & P_1 \\ \emptyset & \bar{D} \end{pmatrix}$ და $\bar{\gamma}_2$ არის $X \setminus \bar{D}$ სიმრავლის ასახვა $D \setminus \{\bar{D}\}$ ნახევარმესერზე. ასე, რომ თუ

$$\bar{\beta} = (P_1 \times \bar{D}) \cup \bigcup_{t' \in X \setminus \bar{D}} (\{t'\} \times \bar{\gamma}_2(t')) \quad (4)$$

მაშინ $V(D, \bar{\beta}) = D$. ფორმალური (1) ტოლობიდან და (2), (4) ტოლობებიდან გვქნება: $Z_1 \bar{\beta} = \emptyset \bar{\beta} = \emptyset$, $\bar{D} \bar{\beta} = \emptyset \bar{\beta} \cup P_1 \bar{\beta} = \emptyset \cup \bar{D} = \bar{D}$, $\alpha = \delta \circ \bar{\beta} = (Y_1^\delta \times Z_1 \bar{\beta}) \cup (Y_0^\delta \times \bar{D} \bar{\beta}) = (Y_1^\delta \times \emptyset) \cup (Y_0^\delta \times \bar{D}) = \delta$. მაგრამ $\alpha = \delta$ ტოლობა ეწინააღმდეგება $\delta \in B_X(D) \setminus \{\alpha\}$ პირობას. ე.ი. ამ შემთხვევაში $\alpha \notin B$.

მოცემულ სიტუაციაში **a)** შემთხვევიდან გამომდინარეობს, რომ B წარმოადგენს $B_X(D)$ ნახევარჯგუფის გარე ელემენტთა სიმრავლეს, რადგანაც γ_i ($i = 1, 2$) ასახვები არიან ყველა შესაძლო ასახვები $\{\emptyset, P_1\}$ სიმრავლიდან D ნახევარმესერში, რომლებიც აკმაყოფილებენ $\gamma_i(\emptyset) = \emptyset$ პირობას.

$$\mathbf{b)} \quad Z_1 \neq \emptyset. \text{ მაშინ } P_0 = \cap D \neq \emptyset \text{ და } \sigma_1 = \begin{pmatrix} P_0 & P_1 \\ Z_1 & Z_1 \end{pmatrix}, \sigma_2 = \begin{pmatrix} P_0 & P_1 \\ Z_1 & \bar{D} \end{pmatrix}, \sigma_3 = \begin{pmatrix} P_0 & P_1 \\ \bar{D} & Z_1 \end{pmatrix} \text{ და } \sigma_4 = \begin{pmatrix} P_0 & P_1 \\ \bar{D} & \bar{D} \end{pmatrix}$$

არიან ყველა შესაძლო ასახვები $\{P_0, P_1\}$ სიმრავლიდან D ნახევარმესერში.

თუ $X = \bar{D}$ და $\sigma_i(P_0) = \sigma_i(P_1)$ ($i = 1, 4$), მაშინ ფორმალური (1) ტოლობებიდან გამომდინარეობს, რომ $\sigma_i(P_1) = \bar{D}$ და ამ შემთხვევაში $\bar{\beta} = X \times \sigma_i(P_1)$. ასე რომ, $\bar{\beta} = X \times Z_1$ ან $\bar{\beta} = X \times \bar{D}$. ორივე შემთხვევაში $V(D, \bar{\beta}) = D$ და $\alpha = \delta \circ \bar{\beta} = ((Y_1^\delta \times Z_1) \cup (Y_0^\delta \times \bar{D})) \circ (X \times Z_1) = ((Y_1^\delta \times$

$Z_1) \circ (X \times Z_1)) \cup ((Y_0^\delta \times \bar{D}) \circ (X \times Z_1)) = (Y_1^\delta \times Z_1) \cup (Y_0^\delta \times Z_1) = X \times Z_1 \notin B, \alpha = \delta \circ \bar{\beta} = ((Y_1^\delta \times Z_1) \cup (Y_0^\delta \times \bar{D})) \circ (X \times \bar{D}) = ((Y_1^\delta \times Z_1) \circ (X \times \bar{D})) \cup ((Y_0^\delta \times \bar{D}) \circ (X \times \bar{D})) = (Y_1^\delta \times \bar{D}) \cup (Y_0^\delta \times \bar{D}) = X \times \bar{D} \notin B. ამრიგად $V(X^*, \alpha) \neq D$. ასე, რომ $X \neq \bar{D}$.$

შემდეგში იგულისხმება, რომ $|X \setminus \bar{D}| \geq 1$.

ბინარული σ_i ($i = 1, 2, 3, 4$) მიმართებებისათვის განვიხილოთ შემდეგი შემთხვევები.

ვთქვათ $\sigma_1 = \begin{pmatrix} P_0 & P_1 \\ Z_1 & Z_1 \end{pmatrix}$. ასეთ შემთხვევაში გვექნება, რომ $P_0 \neq \emptyset$ და $P_1 \neq \emptyset$. თუ $\bar{\sigma}_1$ არის ასახვა $X \setminus \bar{D}$ სიმრავლისა $D \setminus \{Z_1\} = \{\bar{D}\}$ სიმრავლეზე, მაშინ

$$\bar{\beta} = ((P_0 \cup P_1) \times Z_1) \cup \bigcup_{t' \in X \setminus \bar{D}} \{t'\} \times \bar{\sigma}_1(t') \quad (5)$$

$V(D, \bar{\beta}) = D$ და ფორმალური (1) ტოლობებიდან და (2), (5) ტოლობებიდან გვექნება: $Z_1 \bar{\beta} = P_0 \bar{\beta} = Z_1, \bar{D} \bar{\beta} = P_0 \bar{\beta} \cup P_1 \bar{\beta} = Z_1 \cup Z_1 = Z_1, \alpha = \delta \circ \bar{\beta} = (Y_1^\delta \times Z_1 \bar{\beta}) \cup (Y_0^\delta \times \bar{D} \bar{\beta}) = (Y_1^\delta \times Z_1) \cup (Y_0^\delta \times Z_1) = X \times Z_1 \notin B. ამრიგად $V(X^*, \alpha) = \{Z_1\} \neq D$.$

ვთქვათ, $\sigma_2 = \begin{pmatrix} P_0 & P_1 \\ Z_1 & \bar{D} \end{pmatrix}$ და $\bar{\sigma}_2$ არის $X \setminus \bar{D}$ სიმრავლის ასახვა D ნახევარმესერში. ასე, რომ თუ

$$\bar{\beta} = (P_0 \times Z_1) \cup (P_1 \times \bar{D}) \cup \bigcup_{t' \in X \setminus \bar{D}} \{t'\} \times \bar{\sigma}_2(t') \quad (6)$$

მაშინ $V(D, \bar{\beta}) = D$. ფორმალური (1) ტოლობებიდან და (2), (6) ტოლობებიდან გვექნება: $Z_1 \bar{\beta} = P_0 \bar{\beta} = Z_1, \bar{D} \bar{\beta} = P_0 \bar{\beta} \cup P_1 \bar{\beta} = Z_1 \cup \bar{D} = \bar{D}, \alpha = \delta \circ \bar{\beta} = (Y_1^\delta \times Z_1 \bar{\beta}) \cup (Y_0^\delta \times \bar{D} \bar{\beta}) = (Y_1^\delta \times Z_1) \cup (Y_0^\delta \times \bar{D}) = \delta \notin B \setminus \{\alpha\}$. მაგრამ $\alpha = \delta$ ტოლობა ეწინააღმდეგება $\delta \in B_X(D) \setminus \{\alpha\}$ პირობას, ე. ი. ამ შემთხვევაში $\alpha \notin B$.

ვთქვათ $\sigma_3 = \begin{pmatrix} P_0 & P_1 \\ \bar{D} & Z_1 \end{pmatrix}$ და $\bar{\sigma}_3$ არის $X \setminus \bar{D}$ სიმრავლის ასახვა D ნახევარმესერში. ასე, რომ თუ

$$\bar{\beta} = (P_0 \times \bar{D}) \cup (P_1 \times Z_1) \cup \bigcup_{t' \in X \setminus \bar{D}} \{t'\} \times \bar{\sigma}_3(t') \quad (7)$$

მაშინ $V(D, \bar{\beta}) = D$. ფორმალური (1) ტოლობებიდან და (2), (7) ტოლობებიდან გვექნება: $Z_1 \bar{\beta} = P_0 \bar{\beta} = \bar{D}, \bar{D} \bar{\beta} = P_0 \bar{\beta} \cup P_1 \bar{\beta} = \bar{D} \cup Z_1 = \bar{D}, \alpha = \delta \circ \bar{\beta} = (Y_1^\delta \times Z_1 \bar{\beta}) \cup (Y_0^\delta \times \bar{D} \bar{\beta}) = (Y_1^\delta \times \bar{D}) \cup (Y_0^\delta \times \bar{D}) = X \times \bar{D} \notin B. ამრიგად $V(X^*, \alpha) = \{\bar{D}\} \neq D$.$

ვთქვათ, $\sigma_4 = \begin{pmatrix} P_0 & P_1 \\ \bar{D} & \bar{D} \end{pmatrix}$. თუ $\bar{\sigma}_4$ არის $X \setminus \bar{D}$ სიმრავლის $D \setminus \{\bar{D}\} = \{Z_1\}$ სიმრავლეზე ასახვა, მაშინ

$$\bar{\beta} = ((P_0 \cup P_1) \times \bar{D}) \cup \bigcup_{t' \in X \setminus \bar{D}} \{t'\} \times \bar{\sigma}_4(t') \quad (8)$$

ვინაიდან $V(X^*, \alpha) = \{\bar{D}\} \neq D$, ამიტომ $V(D, \bar{\beta}) = D$ და (1) ფორმალური ტოლობიდან და (2), (8) ტოლობებიდან გამომდინარეობს, რომ $Z_1 \bar{\beta} = P_0 \bar{\beta} = \bar{D}, \bar{D} \bar{\beta} = P_0 \bar{\beta} \cup P_1 \bar{\beta} = \bar{D} \cup \bar{D} = \bar{D}, \alpha = \delta \circ \bar{\beta} = (Y_1^\delta \times Z_1 \bar{\beta}) \cup (Y_0^\delta \times \bar{D} \bar{\beta}) = (Y_1^\delta \times \bar{D}) \cup (Y_0^\delta \times \bar{D}) = X \times \bar{D} \notin B. ამრიგად, b) შემთხვევიდან გამომდინარეობს, რომ B არის $B_X(D)$ ნახევარჯგუფის გარე ელემენტების სიმრავლე, რადგანაც $\sigma_1 - \sigma_4$ არიან ყველა შესაძლო ასახვები $\{P_0, P_1\}$ სიმრავლიდან D ნახევარმესერში. **ლემა 1 დამტკიცებულია.**$

შედეგი 1. ვთქვათ $D = \{\emptyset, \bar{D}\} \in \Sigma_1(X, 2)$ და $B = \{\alpha \in B_X(D) | V(X^*, \alpha) = D\}$. მაშინ სამართლიანია შემდეგი დებულებები:

- 1) თუ $|X \setminus \bar{D}| \geq 1$ და $Z_1 = \emptyset$, მაშინ $\alpha = X \times D$ არ წარმოიქმნება B სიმრავლის ელემენტებით;
- 2) თუ $X = \bar{D}$ და $Z_1 \neq \emptyset$, მაშინ $\alpha = X \times Z_1$ არ წარმოიქმნება B სიმრავლის ელემენტებით;
- 3) თუ $X = \bar{D}$ და $Z_1 = \emptyset$, მაშინ $\alpha = \emptyset$ და $\alpha = X \times \bar{D}$ არ წარმოიქმნებიან B სიმრავლის ელემენტებით.

დამტკიცება. ვთქვათ $|X \setminus \bar{D}| \geq 1, Z_1 = \emptyset$ და $\delta, \beta \in B$. მაშინ ბინარულ δ მიმართების კვაზინორმალურ წარმოდგენას ექნება შემდეგი სახე: $\delta = (Y_1^\delta \times \emptyset) \cup (Y_0^\delta \times \bar{D})$, სადაც $Y_1^\delta, Y_0^\delta \notin \{\emptyset\}$ და

$\delta \circ \beta = (Y_1^\delta \times \emptyset \beta) \cup (Y_0^\delta \times \bar{D}\beta) = (Y_1^\delta \times \emptyset) \cup (Y_0^\delta \times \bar{D}\beta) \neq X \times \bar{D}$, რადგანაც $Y_1^\delta \neq \emptyset$. მაშასადამე, თუ $|X \setminus \bar{D}| \geq 1$ და $Z_1 = \emptyset$, მაშინ $\alpha = X \times D$ არ წარმოიქმნება B სიმრავლის ელემენტებით.

შედეგი 1-ის 1) დებულება დამტკიცებულია.

ვთქვათ $X = \bar{D}$ და $Z_1 \neq \emptyset$. თუ δ და β არიან B სიმრავლის ისეთი ელემენტები, რომ $\delta \circ \beta = X \times Z_1$, მაშინ ბინარულ δ მიმართების კვაზინორმალურ წარმოდგენას ექნება შემდეგი სახე: $\delta = (Y_1^\delta \times Z_1) \cup (Y_0^\delta \times \bar{D}) = (Y_1^\delta \times Z_1) \cup (Y_0^\delta \times X)$, სადაც $Y_1^\delta, Y_0^\delta \notin \{\emptyset\}$ და $\delta \circ \beta = (Y_1^\delta \times Z_1\beta) \cup (Y_0^\delta \times \bar{D}\beta) = (Y_1^\delta \times Z_1\beta) \cup (Y_0^\delta \times X\beta) = X \times Z_1$, ე.ი. $Z_1\beta = X\beta = Z_1$. ტოლობიდან $X\beta = Z_1$ გამომდინარეობს $t\beta = Z_1$ ყოველი $t \in X$ –თვის, რადგანაც Z_1 არის D ნახევარჯგუფის უმცირესი ელემენტი. ამრიგად, სამართლიანია შემდეგი ტოლობა: $\beta = X \times Z_1$. ბოლო ტოლობა ეწინააღმდეგება $\beta \in B$ პირობას, მაშასადამე, ბინარული $\alpha = X \times Z_1$ მიმართება არ წარმოიქმნება B სიმრავლის ელემენტებით.

შედეგი 1-ის 2) დებულება დამტკიცებულია.

ვთქვათ $X = \bar{D}$, $Z_1 = \emptyset$. თუ $\alpha = \delta \circ \beta$ რომელიღაც $\delta, \beta \in B$, მაშინ ბინარული δ და β მიმართებების კვაზინორმალური წარმოდგენები ჩაიწერება შემდეგნაირად: $\delta = (Y_1^\delta \times \emptyset) \cup (Y_0^\delta \times \bar{D}) = (Y_1^\delta \times \emptyset) \cup (Y_0^\delta \times X)$, $\beta = (Y_1^\beta \times \emptyset) \cup (Y_0^\beta \times \bar{D}) = (Y_1^\beta \times \emptyset) \cup (Y_0^\beta \times X)$, სადაც $Y_1^\delta, Y_0^\delta, Y_1^\beta, Y_0^\beta \notin \{\emptyset\}$, ამდენად $V(X^*, \delta) = V(X^*, \beta) = D$ ($\delta, \beta \in B$). ასე, რომ გვქვია: $\alpha = \delta \circ \beta = ((Y_1^\delta \times \emptyset) \cup (Y_0^\delta \times X)) \circ ((Y_1^\beta \times \emptyset) \cup (Y_0^\beta \times X)) = ((Y_1^\delta \times \emptyset) \circ (Y_1^\beta \times \emptyset)) \cup ((Y_1^\delta \times \emptyset) \circ (Y_0^\beta \times X)) \cup ((Y_0^\delta \times X) \circ (Y_1^\beta \times \emptyset)) \cup ((Y_0^\delta \times X) \circ (Y_0^\beta \times X)) = \emptyset \cup \emptyset \cup (Y_1^\delta \times \emptyset) \cup (Y_0^\delta \times X) = \delta$.

რადგანაც $X \cap Y_1^\beta = Y_1^\beta \neq \emptyset$ და $X \cap Y_0^\beta = Y_0^\beta \neq \emptyset$. მაგრამ ტოლობებიდან $\alpha = \emptyset$, $\alpha = \delta$ ან $\alpha = X \times \bar{D}$, $\alpha = \delta$ შესაბამისად გამომდინარეობს $\alpha \notin B$ და $\alpha \in B$, რადგანაც დაშვების თანახმად $\delta \in B$, ე.ი. $\alpha = \emptyset$ და $\alpha = X \times \bar{D}$ არ წარმოიქმნებიან B სიმრავლის ელემენტებით.

შედეგი 1-ის 3) დებულება დამტკიცებულია. **შედეგი 1 დამტკიცებულია.**

თეორემა 1. ვთქვათ $D = \{Z_1, \bar{D}\} \in \Sigma_1(X, 2)$. თუ $B = \{\alpha \in B_X(D) \mid V(X^*, \alpha) = D\}$, მაშინ სამართლიანია შემდეგი დებულებები:

- თუ $|X \setminus \bar{D}| \geq 1$ და $Z_1 \neq \emptyset$, მაშინ B არის $B_X(D)$ ნახევარჯგუფის დაუყვანადი წარმომქმნელი სიმრავლე;
- თუ $|X \setminus \bar{D}| \geq 1$ და $Z_1 = \emptyset$, მაშინ $B \cup \{X \times \bar{D}\}$ არის $B_X(D)$ ნახევარჯგუფის დაუყვანადი წარმომქმნელი სიმრავლე;
- თუ $X = \bar{D}$ და $Z_1 \neq \emptyset$, მაშინ $B \cup \{X \times Z_1\}$ არის $B_X(D)$ ნახევარჯგუფის დაუყვანადი წარმომქმნელი სიმრავლე;
- თუ $X = \bar{D}$ და $Z_1 = \emptyset$, მაშინ $B \cup \{\emptyset, X \times \bar{D}\}$ არის $B_X(D)$ ნახევარჯგუფის დაუყვანადი წარმომქმნელი სიმრავლე.

დამტკიცება. ვთქვათ $|X \setminus \bar{D}| \geq 1$, $Z_1 \neq \emptyset$ და α არის $B_X(D) \setminus B$ ნახევარჯგუფის ნებისმიერი ელემენტი. α ბინარულ მიმართების კვაზინორმალურ წარმოდგენას აქვს სახე: $\alpha = (Y_1^\alpha \times Z_1) \cup (Y_0^\alpha \times \bar{D})$, სადაც $Y_1^\alpha = \emptyset$ ან $Y_0^\alpha = \emptyset$ ($V(X^*, \alpha) \neq D$ რადგანაც $\alpha \notin B$).

ვთქვათ, $Y_1^\alpha = \emptyset$. მაშინ $\alpha = X \times \bar{D}$ და ნებისმიერი $\delta = (Y_1^\delta \times Z_1) \cup (Y_0^\delta \times \bar{D}) \in B$ და $\beta = (Z_1 \times \bar{D}) \cup ((X \setminus Z_1) \times Z_1)$ –თვის გვქვია $\beta \in B$, რადგანაც $Z_1 \neq \emptyset$ დაშვების თანახმად და $X \setminus \bar{D} \subset X \setminus Z_1 \neq \emptyset$. ამრიგად, რადგანაც $\bar{D} \supset Z_1$, სამართლიანია შემდეგი ტოლობა: $\delta \circ \beta = ((Y_1^\delta \times Z_1) \cup (Y_0^\delta \times \bar{D})) \circ ((Z_1 \times \bar{D}) \cup ((X \setminus Z_1) \times Z_1)) = ((Y_1^\delta \times Z_1) \circ (Z_1 \times \bar{D})) \cup ((Y_1^\delta \times Z_1) \circ ((X \setminus Z_1) \times Z_1)) \cup$

$$\left((Y_0^\delta \times \bar{D}) \circ (Z_1 \times \bar{D})\right) \cup \left((Y_0^\delta \times \bar{D}) \circ ((X \setminus Z_1) \times Z_1)\right) = (Y_1^\delta \times \bar{D}) \cup \emptyset \cup (Y_0^\delta \times \bar{D}) \cup (Y_0^\delta \times Z_1) = (Y_1^\delta \times \bar{D}) \cup (Y_0^\delta \times \bar{D}) = X \times \bar{D} = \alpha.$$

ვთქვათ, $Y_0^\alpha = \emptyset$. მაშინ $\alpha = X \times Z_1$ და ნებისმიერი $\delta = (Y_1^\delta \times Z_1) \cup (Y_0^\delta \times \bar{D}) \in B$ და $\beta = (\bar{D} \times Z_1) \cup ((X \setminus \bar{D}) \times \bar{D})$ ელემენტებისათვის გვაქვს $\beta \in B$, რადგანაც $X \setminus \bar{D} \neq \emptyset$ ($|X \setminus \bar{D}| \geq 1$).

ამრიგად, რადგანაც დაშვების თანახმად $\bar{D} \supset Z_1$, სამართლიანია შემდეგი ტოლობა: $\delta \circ \beta = ((Y_1^\delta \times \emptyset) \cup (Y_0^\delta \times \bar{D})) \circ ((\bar{D} \times \emptyset) \cup ((X \setminus \bar{D}) \times \bar{D})) = ((Y_1^\delta \times \emptyset) \circ (\bar{D} \times \emptyset)) \cup ((Y_1^\delta \times \emptyset) \circ ((X \setminus \bar{D}) \times \bar{D})) \cup ((Y_0^\delta \times \bar{D}) \circ (\bar{D} \times \emptyset)) \cup ((Y_0^\delta \times \bar{D}) \circ ((X \setminus \bar{D}) \times \bar{D})) = \emptyset \cup \emptyset \cup (Y_0^\delta \times \emptyset) \cup \emptyset = \emptyset = \alpha$.

თეორემა1-ის a) დებულება დამტკიცებულია.

ვთქვათ $|X \setminus \bar{D}| \geq 1$ და $Z_1 = \emptyset$. ნებისმიერი $\delta = (Y_1^\delta \times \emptyset) \cup (Y_0^\delta \times \bar{D}) \in B$ და $\beta = (\bar{D} \times \emptyset) \cup ((X \setminus \bar{D}) \times \bar{D})$ -თვის გვექნება, რომ $\beta \in B$, რადგანაც $X \setminus \bar{D} \neq \emptyset$ ($|X \setminus \bar{D}| \geq 1$). ასეთ შემთხვევაში სრულდება ტოლობა: $\delta \circ \beta = ((Y_1^\delta \times \emptyset) \cup (Y_0^\delta \times \bar{D})) \circ ((\bar{D} \times \emptyset) \cup ((X \setminus \bar{D}) \times \bar{D})) = ((Y_1^\delta \times \emptyset) \circ (\bar{D} \times \emptyset)) \cup ((Y_1^\delta \times \emptyset) \circ ((X \setminus \bar{D}) \times \bar{D})) \cup ((Y_0^\delta \times \bar{D}) \circ (\bar{D} \times \emptyset)) \cup ((Y_0^\delta \times \bar{D}) \circ ((X \setminus \bar{D}) \times \bar{D})) = \emptyset \cup \emptyset \cup (Y_0^\delta \times \emptyset) \cup \emptyset = \emptyset = \alpha$.

ახლა თეორემა1-ის b) დებულება უშუალოდ გამომდინარეობს შედეგი1-ის 1) დებულებიდან.

ვთქვათ $X = \bar{D}$ და $Z_1 \neq \emptyset$. დავუშვათ, $\delta = (Y_1^\delta \times Z_1) \cup (Y_0^\delta \times \bar{D})$ არის B სიმრავლის ნებისმიერი ელემენტი და $\beta = (Z_1 \times \bar{D}) \cup ((X \setminus Z_1) \times Z_1)$. ადვილი დასანახია, რომ $\beta \in B$ და $\delta \circ \beta = ((Z_1 \times Z_1) \cup ((X \setminus Z_1) \times \bar{D})) \circ ((Z_1 \times \bar{D}) \cup ((X \setminus Z_1) \times Z_1)) = ((Z_1 \times Z_1) \circ (Z_1 \times \bar{D})) \cup ((Z_1 \times Z_1) \circ ((X \setminus Z_1) \times Z_1)) \cup (((X \setminus Z_1) \times \bar{D}) \circ (Z_1 \times \bar{D})) \cup (((X \setminus Z_1) \times \bar{D}) \circ ((X \setminus Z_1) \times Z_1)) = (Z_1 \times \bar{D}) \cup \emptyset \cup ((X \setminus Z_1) \times \bar{D}) \cup ((X \setminus Z_1) \times Z_1) = (Z_1 \times \bar{D}) \cup ((X \setminus Z_1) \times \bar{D}) = X \times \bar{D}$, რადგანაც დაშვების თანახმად $\bar{D} \supset Z_1$.

ახლა თეორემა1-ის c) დებულება უშუალოდ გამომდინარეობს შედეგი1-ის 2) დებულებიდან, თეორემა1-ის d) დებულება კი უშუალოდ გამომდინარეობს შედეგი1-ის 3) დებულებიდან. **თეორემა 1 დამტკიცებულია.**

შედეგი 2. ვთქვათ, X სასრული სიმრავლეა და $D = \{Z_1, \bar{D}\} \in \Sigma_1(X, 2)$. მაშინ $B_X(D)$ ნახევარჯგუფის დაუყვანად B' წარმომქმნელთა სიმრავლის ელემენტთა რაოდენობისათვის სამართლიანია შემდეგი დებულებები:

- a) თუ $|X \setminus \bar{D}| \geq 1$ და $Z_1 \neq \emptyset$, მაშინ $|B'| = 2^{|X|} - 2$;
- b) თუ $|X \setminus \bar{D}| \geq 1$ და $Z_1 = \emptyset$ ან $X = \bar{D}$ და $Z_1 \neq \emptyset$, მაშინ $|B'| = 2^{|X|} - 1$;
- d) თუ $X = \bar{D}$ და $Z_1 = \emptyset$, მაშინ $|B'| = 2^{|X|}$.

დამტკიცება. ცნობილია, რომ თუ B არის $B_X(D)$ ნახევარჯგუფის ყველა გარე ელემენტთა სიმრავლე და B' არის $B_X(D)$ ნახევარჯგუფის ნებისმიერი წარმომქმნელთა სიმრავლე, მაშინ $B \subseteq B'$. ლემა1-ის თანახმად $B = \{\alpha \in B_X(D) | V(X^*, \alpha) = D\}$ სიმრავლე წარმოადგენს $B_X(D)$ ნახევარჯგუფის გარე ელემენტთა სიმრავლეს. ადვილი დასანახია, რომ $B = B_X(D) \setminus \{X \times Z_1, X \times \bar{D}\}$. აქედან კი გამომდინარეობს, რომ $|B| = 2^{|X|} - 2$ (იხ. 1).

თეორემა1-ის a) დებულებიდან გამომდინარეობს, რომ $B = B'$, ე.ი. $|B'| = 2^{|X|} - 2$; თეორემა1-ის b) და c) დებულებებიდან გამომდინარეობს, რომ $B' = B \cup \{X \times \bar{D}\}$ ან $B' = B \cup \{X \times Z_1\}$, ე.ი.

$|B'| = (2^{|X|} - 2) + 1 = 2^{|X|} - 1$; თეორემა 1-ის d) დებულებიდან გამომდინარეობს, რომ $B' = B \cup \{X \times Z_1, X \times \bar{D}\}$, ე.ი. $|B'| = (2^{|X|} - 2) + 2 = 2^{|X|}$. შედეგი 2 დამტკიცებულია.

3. დასკვნა

ნაშრომში აღწერილია $\Sigma_1(X, 2)$ კლასის D გაერთიანებათა სრული X –ნახევარმესერებით განსაზღვრული $B_X(D)$ ნახევარჯგუფის გარე ელემენტთა სიმრავლე. ნაჩვენებია, რომ ეს სიმრავლე წარმოქმნის ნახევარჯგუფს, საიდანაც ვასკვნიტ, რომ ის არის ნახევარჯგუფის წარმომქმნელთა დაუყვანადი სისტემა. სასრული ნახევარჯგუფებისათვის მიღებულია წარმომქმნელ სიმრავლეებში ელემენტთა რაოდენობის გამოსათვლელი ფორმულები.

გამოყენებული ლიტერატურა:

4. Yasha Diasamidze, Shota Makharadze. Complete semigroups of binary relations. Turkey, Kriter, 2013, 1–519.
5. Yasha Diasamidze, Neşet Aydin, Ali Erdoğan. Generating Set of the Complete Semigroups of Binary Relations. Applied Mathematics, 2016, 7, 98-107.
6. Yasha Diasamidze, Shota Makharadze. Complete semigroups of binary relations defined by elementary and nodal X – semilattices of unions. Journal of Mathematical Sciences, 111, no.1, 2002, Plenum Publ. Corp., New York, 3171–3226.
7. Yasha Diasamidze, Temuri Sirabidze. Complete semigroups of binary relations defined by three-element X – chains. Journal of Mathematical Sciences, 117, no. 4, 2003, Plenum Publ. Corp., New York, 2003, 4320–4350.
8. Omar Givradze. Irreducible Generating Sets of Complete Semigroups of Unions $B_X(D)$ Defined by Semilattices of Class $\Sigma_2(X, 4)$. Journal of Mathematical Sciences, 186, no. 5, 2012, 745-750.
9. Omar Givradze. Irreducible Generating sets of Complete Semigroups of Unions. Journal of Mathematical Sciences, 197, no.6, 2014, 755-760.

Generated Sets of the Complete Semigroup Binary Relations Defined by Semilattices of the Class $\Sigma_1(X, 2)$

Omar Givradze, Aleksandre Bakuridze, Tengiz Didmanidze

Batumi Shota Rustaveli State University

omar.givradze@bsu.edu.ge, a.bakuridze@bsu.edu.ge

Abstract

This paper discusses the systems of complete semigroups $B_X(D)$ of binary relations defined by complete X -semi-sets of unions of class D of $\Sigma_1(X, 2)$.

Keywords: semi-set, semi-group, binary relation

ქიმიური ბმების პოლარობა ბორის პლანარულ კლასტერებში

თორნიკე ოდიშვილი, ლევან ჩხარტიშვილი

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

odishvilitoko@gmail.com, levanchkhartishvili@gtu.ge

რეზიუმე

ბორის კლასტერებს B_n , რომლებშიც ატომების რაოდენობა $n \leq 20$, ძირითადად მდგომარეობაში პლანარული ან კვაზიპლანარული სტრუქტურა აქვთ. მცირე ზომების გამო მათში ურთიერთშესაძარისაა განსხვავებულად კოორდინირებული ცენტრალური და პერიფერიული ატომური კვანძების რაოდენობები, რაც განაპირობებს $B-B$ ქიმიური ბმების პოლარობას. სტატიაში ეს საკითხი გამოკვლეულია თეორიულად – წერტილოვანი სტატიკური ატომური მუხტების მოდელში. მიღებულმა შედეგებმა შეიძლება ჰპოვონ პრაქტიკული გამოყენება, ვინაიდან სწორედ ბორის კვაზიპლანარული კლასტერები ასრულებენ „სამშენებლო ბლოკების“ როლს ბოროფენებისა და ბორის ფუძეზე სხვა პერსპექტიული 2D-მასალების ზრდის ტექნოლოგიებში.

საკვანძო სიტყვები: საკოორდინაციო რიცხვი, ატომური მუხტი, ბმის პოლარობა, დიპოლური მომენტი, კლასტერი, ბორი

1. შესავალი.

კრისტალებში, რომლებიც ატომთა ინფინიტური სტრუქტურებია, ატომთაშორისი ბმების პოლარობა, როგორც წესი, ქიმიური ნაერთებისათვისაა მკვეთრად გამოხატული და უკავშირდება განსხვავებებს მათი შემადგენელი ქიმიური ელემენტების იონიზების ენერგიის, ელექტრონისადმი სწრაფვისა და ელექტროუარყოფითობის მნიშვნელობებში. რაც შეეხება ატომთა ფინიტურ სტრუქტურებს, ამ შემთხვევაში ქიმიური ბმების საგრძნობი პოლარობა ელემენტურ კლასტერებშიც გვხვდება და გამოწვეულია განსხვავებებით კლასტერის ცენტრალური ნაწილისა და პერიფერიის ატომური კვანძების საკოორდინაციო რიცხვებში.

ბორის ელექტრულად ნეიტრალურ კლასტერებისათვის B_n , რომლებშიც ატომების რაოდენობა $n \leq 20$, ძირითადად მდგომარეობაში დამახასიათებელია (კვაზი)პლანარული სტრუქტურა [1] და შემადგენელი B-ატომების არანულოვანი სტატიკური მუხტები [2]. წინამდებარე სტატიაში ქიმიური ბმების პოლარობა ბორის მცირე ზომის ასეთ კლასტერებში გამოკვლეულია თეორიულად – წერტილოვანი სტატიკური ატომური მუხტების მოდელში.

აღსანიშნავია, რომ ეს პრობლემა არამხოლოდ აკადემიური ინტერესის საგანია. მიღებულმა შედეგებმა შეიძლება ჰპოვონ მნიშვნელოვანი პრაქტიკული გამოყენებაც, ვინაიდან ბორის კვაზიპლანარული კლასტერები ასრულებენ „სამშენებლო ბლოკების“ [3,4] როლს ბოროფენებისა და ბორის ფუძეზე სხვა პერსპექტიული 2D-მასალების [5–12] ზრდის ტექნოლოგიებში.

2. მეთოდოლოგია

ბორის იზოლირებული ატომის ვალენტური ელექტრონების საერთო რაოდენობა 3-ის ტოლია. თუმცა, მათგან მხოლოდ 1 მიეკუთვნება $2p$ გარე ვალენტურ შრეს, ხოლო დანარჩენი 2 ელექტრონი იკავებს $2s$ შიდა ვალენტურ შრეს გაცილებით (დაახლოებით 4.6 ევ-ით) დაბალი ენერგიით. ეს გარემოება საშუალებას გვაძლევს უგულებელვყოთ მათი მონაწილეობა მთლიანად ბორისგან შემდგარ კლასტერებში სტატიკური ატომური მუხტების ფორმირებაში.

მათში ატომური მუხტების მნიშვნელობების დასადგენად, შეგვიძლია ვივარაუდოთ, რომ მოცემულ ატომურ კვანძზე ლოკალიზებული გარე ვალენტური შრის ელექტრონების ეფექტური რაოდენობა პროპორციულია მისი საკოორდინაციო რიცხვისა.

ამიტომ, B_n კლასტერში, რომელშიც არის n ბორის ატომი, ასეთი ელექტრონების რაოდენობა ელექტრულად ნეიტრალურ მდგომარეობაში ასევე n იქნება და თუ C_i არის i -კვანძის საკოორდინაციო რიცხვი, $i = 1, 2, 3, \dots, 20$, მაშინ მისი ეფექტური მუხტური რიცხვი Z_i შეიძლება შეფასდეს შემდეგი თანაფარდობიდან [13]:

$$Z_i \approx 1 - \frac{n C_i}{\sum_{j=1}^n C_j}.$$

თუკი კლასტერის ფორმირებისას ვალენტური ელექტრონული სიმკვრივის გადანაწილება უახლოესი მეზობელი ატომების წყვილებზე ლოკალიზებული წერტილოვანი მუხტებით არის წარმოდგენილი, მაშინ ატომთა ასეთი სისტემის ელექტრული დიპოლური მომენტი $\vec{p}$ იქნება [14]:

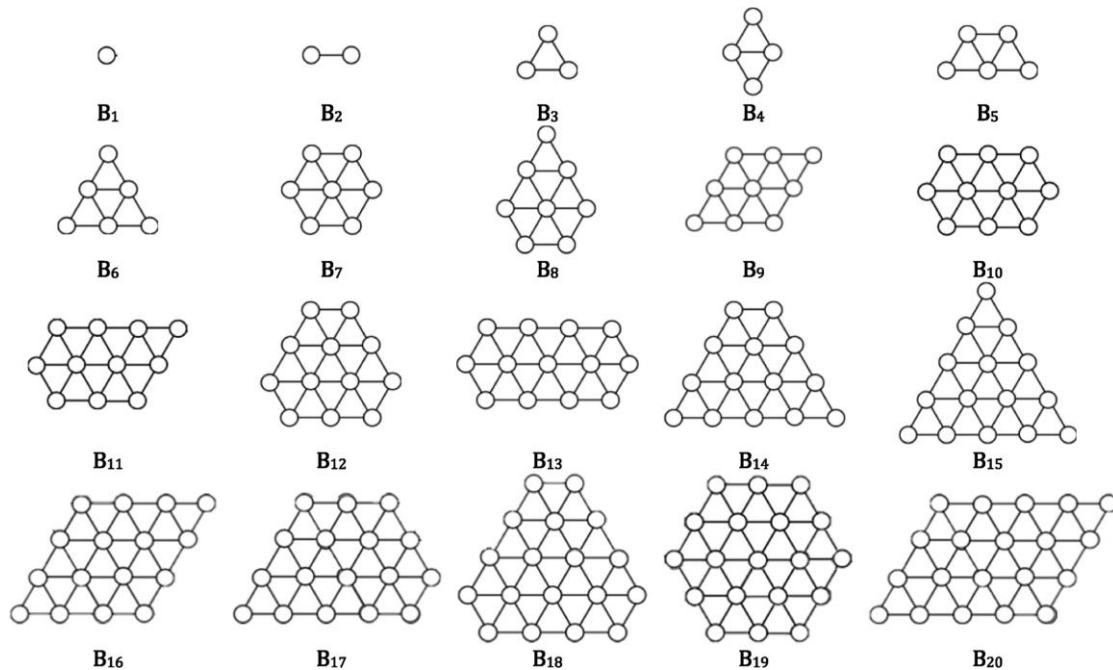
$$\vec{p} = \sum_{i=1}^n e Z_i \vec{r}_i,$$

სადაც $\vec{r}_i$ აღნიშნავს i -კვანძში ლოკალიზებული ბორის ატომის რადიუს-ვექტორს, ხოლო e ელემენტარული ელექტრული მუხტია. მთლიანი კლასტერის ელექტრულად ნეიტრალურობის პირობა კი ასე ჩაიწერება:

$$\sum_{i=1}^n Z_i = 0.$$

3. შედეგები

სურათზე 1 ნაჩვენებია ბორის მცირე ზომის იდეალურად პლანარული კლასტერების ძირითადი მდგომარეობის იზომორფებად შერჩეული სტრუქტურები.



სურათი 1. ბორის მცირე ზომის კლასტერების ძირითადი მდგომარეობის იზომორფები

ელექტრულად ნეიტრალური კლასტერებისათვის სტატისტიკური ატომური მუხტური რიცხვების შეფასების შედეგები წარმოდგენილია ცხრილში 1. ვინაიდან აქ მოყვანილია სამი ნიშნადი ციფრის მიახლოებით დამრგვალებული მნიშვნელობები, მუხტის ბალანსის პირობა მხოლოდ იგივე მიახლოებაში სრულდება.

ცხრილი 1. სტატიკური ატომური მუხტური რიცხვები $\times$ ატომურ კვანძთა რაოდენობები ბორის ნეიტრალურ პლანარულ კლასტერებში

კლასტერი	საკოორდინაციო რიცხვი					
	0	1	2	3	4	6
B ₁ ⁰	$\pm 0.000 \times 1$					
B ₂ ⁰		$\pm 0.000 \times 2$				
B ₃ ⁰			$\pm 0.000 \times 3$			
B ₄ ⁰			$+ 0.200 \times 2$	$- 0.200 \times 2$		
B ₅ ⁰			$+ 0.286 \times 2$	$- 0.071 \times 2$	$- 0.429 \times 1$	
B ₆ ⁰			$+ 0.333 \times 3$		$- 0.333 \times 3$	
B ₇ ⁰				$+ 0.125 \times 6$		$- 0.750 \times 1$
B ₈ ⁰			$+ 0.429 \times 1$	$+ 0.143 \times 4$	$- 0.143 \times 2$	$- 0.714 \times 1$
B ₉ ⁰			$+ 0.438 \times 2$	$+ 0.156 \times 2$	$- 0.125 \times 4$	$- 0.688 \times 1$
B ₁₀ ⁰				$+ 0.211 \times 6$	$- 0.053 \times 2$	$- 0.579 \times 2$
B ₁₁ ⁰			$+ 0.476 \times 1$	$+ 0.214 \times 4$	$- 0.048 \times 4$	$- 0.571 \times 2$
B ₁₂ ⁰				$+ 0.250 \times 6$	$\pm 0.000 \times 3$	$- 0.500 \times 3$
B ₁₃ ⁰				$+ 0.250 \times 6$	$\pm 0.000 \times 4$	$- 0.500 \times 3$
B ₁₄ ⁰			$+ 0.500 \times 2$	$+ 0.250 \times 2$	$\pm 0.000 \times 7$	$- 0.500 \times 3$
B ₁₅ ⁰			$+ 0.500 \times 3$		$\pm 0.000 \times 9$	$- 0.500 \times 3$
B ₁₆ ⁰			$+ 0.515 \times 2$	$+ 0.273 \times 2$	$+0.030 \times 8$	$- 0.454 \times 4$
B ₁₇ ⁰			$+ 0.528 \times 1$	$+ 0.292 \times 4$	$+0.056 \times 7$	$- 0.417 \times 5$
B ₁₈ ⁰				$+ 0.308 \times 6$	$+0.077 \times 6$	$- 0.385 \times 6$
B ₁₉ ⁰				$+ 0.321 \times 6$	$+0.095 \times 6$	$- 0.357 \times 7$
B ₂₀ ⁰			$+ 0.535 \times 2$	$+ 0.302 \times 2$	$+0.070 \times 10$	$- 0.395 \times 6$

თუკი მხედველობაში არ მივიღებთ იდენტურად კოორდინირებული ატომური კვანძების მქონე უმცირეს კლასტერებს (B₁, B₂ და B₃), ელექტრულად ნეიტრალურ და ერთჯერადად დადებითად და უარყოფითად დამუხტულ მდგომარეობებში მყოფი ბორის მცირე ზომის პლანარული კლასტერების სტატიკური ატომური მუხტური რიცხვების შეფასდება, როგორც $- 0.750$ -დან (B⁰) $+0.535$ -მდე (B₂₀⁰), -0.500 -დან (B⁺, B₈⁺ და B₉⁺) $+0.556$ -მდე (B₁₇⁺) და -1.000 -დან (B⁻) $+0.512$ -მდე (B₂₀⁻), შესაბამისად:

ცხრილი 2. მობრუნების მიმართ ასიმეტრიული ბორის მცირე ზომის პლანარული კლასტერების დაყვანილი დიპოლური ელექტრული მომენტი

კლასტერი	p/ea
B ₅ ⁰	0.128
B ₈ ⁰	0.495
B ₁₁ ⁰	0.351
B ₁₄ ⁰	0.433
B ₁₇ ⁰	0.618

ცხრილში 2 წარმოდგენილია მობრუნების მიმართ ასიმეტრიული კლასტერების ელექტრული დიპოლური მომენტის გამოთვლილი მნიშვნელობები, დაყვანილი ea ნამრავლზე,

სადაც a ქიმიური ბმების სიგრძეა შესაბამის კლასტერში. რაც შეეხება სიმეტრიულ კლასტერებს, მათი დიპოლური მომენტი, ცხადია, იგივეურადაა ნულის ტოლი.

4. განსჯა.

შევნიშნოთ, რომ დიპოლური მომენტის ea ერთეული შეესაბამება სიტუაციას, როდესაც ერთი ელექტრონი სრულად გადაეცემა მოცემული ატომიდან მის რომელიმე უახლოეს მეზობელ ატომს ანუ ერთმანეთისაგან a მანძილით დაშორებული ატომების სტატიკური ელექტრული მუხტები უტოლდება $+e$ -სა და $-e$ -ს, შესაბამისად. ვინაიდან დაყვანილი დიპოლური მომენტისათვის მიღებული ყველა მნიშვნელობა 1-ზე ნაკლები გამოვიდა, მივდივართ დასკვნამდე, რომ ბორის პლანარულ კლასტერებში გარე ვალენტური შრის ელექტრონული ღრუბლის მხოლოდ ნაწილობრივ წანაცვლებას აქვს ადგილი. თუმცა, შესაბამისი დიპოლური მომენტების სიდიდეები სავსებით საკმარისია ბორის კლასტერების ერთმანეთთან და სხვა ატომურ სტრუქტურებთან პოლარიზაციულ ურთიერთქმედებაზე გავლენის მოხდენისათვის.

კლასტერებისათვის, ატომთა ნებისმიერი ბმული სისტემის მსგავსად, ძირითადი მდგომარეობის უმნიშვნელოვანი პარამეტრი ბმის კუთრი (ანუ მოლური) ენერგიაა, რადგანაც მისი მაქსიმალური მნიშვნელობა შეესაბამება ყველაზე მდგრად იზომორფულ სტრუქტურას. დიდი ალბათობით, სწორედ ასეთი სტრუქტურები ფორმირდებიან უპირატესად კლასტერების ზრდის პროცესებში. თუმცა, კლასტერების წარმოქმნის ალბათობაზე გავლენას მოახდენს კონკრეტული ტექნოლოგიის კინეტიკაც.

ასე მაგალითად, ვაკუუმში, ქიმიური ურთიერთქმედების გარდა, კლასტერები არანულოვანი ელექტრული დიპოლური მომენტით ფიზიკურადაც ურთიერთქმედებენ ერთმანეთთან და ზედაპირებთან. და რადგან ბორის მცირე ზომის პლანარული კლასტერები წარმოადგენენ ბოროფენების სტრუქტურის ფრაგმენტებს, შეგვიძლია დავასკვნათ, რომ მათი ელექტრული დიპოლური მომენტები გავლენას იქონიებს ბოროფენებისა და სხვა ბორშემცველი ნანოსტრუქტურების ზრდის კინეტიკაზეც.

5. დასკვნა.

ამრიგად, წერტილოვანი მუხტების მოდელში თეორიულადაა განსაზღვრული სტატიკური ატომური მუხტური რიცხვი ელექტრულად ნეიტრალურ და ერთჯერადად დადებითად და უარყოფითად დამუხტულ ბორის მცირე ზომის პლანარულ კლასტერებში. კერძოდ, ნეიტრალური კლასტერებისათვის ამ სიდიდის გასაშუალოებული აბსოლუტური მნიშვნელობისათვის დადგენილია დიაპაზონი 0.128 – 618, რომლის შესაბამისი ელექტრული დიპოლური მომენტიც გავლენას მოახდენს ასეთი კლასტერებიდან ბოროფენებისა და ბორის ფუძეზე სხვა 2D-მასალების ზრდის პროცესებზე.

გამოყენებული ლიტერატურა:

- [1] B. Kiran, S. Bulusu, H.-J. Zhai, S. Yoo, X. C. Zeng, L.-S. Wang. Planar-to-tubular structural transition in boron clusters: B₂₀ as the embryo of single-walled boron nanotubes. Proc. Natl. Acad. Sci. USA, 2005, 102 (4), 961-964.
- [2] L. Chkhartishvili. Effect of static atomic charges on small elemental clusters: Evidence from boron. Int. J. Adv. Nano Comput. Anal., 2023, 2 (1), 13-21.
- [3] A. N. Alexandrova, A. I. Boldyrev, H.-J. Zhai, L.-S. Wang. All-boron aromatic clusters as potential new inorganic ligands and building blocks in chemistry. Coord. Chem. Rev., 2006, 250 (21/22), 2811-2866.

- [4] W.-L. Li, Q. Chen, W.-J. Tian, H. Bai, Y.-F. Zhao, H.-S. Hu, J. Li, H.-J. Zhai, S.-D. Li, L.-S. Wang. The B₃₅ cluster with a double-hexagonal vacancy: A new and more flexible structural motif for borophene. *J. American Chem. Soc.*, 2014, 136 (35), 12257-12260.
- [5] I. Boustani. Towards novel boron nanostructural materials. *Chem. Modell.*, 2011, 8, 1-44.
- [6] L. Chkhartishvili. Micro- and nano-structured boron. In: *Boron: Compounds, Production and Application* (Ed. G. L. Perkins), 2011, New York, Nova Sci. Publ., Ch. 6, 221-294.
- [7] R. Becker, L. Chkhartishvili, P. Martin. Boron, the new graphene? *VT&C*, 2015, 16 (4), 38-44.
- [8] L. Chkhartishvili. All-boron nanostructures. In: *CRC Concise Encyclopedia of Nanotechnology* (Eds. B. I. Kharisov, O. V. Kharissova, U. Ortiz-Mendez), 2016, Boca Raton, CRC Press, Ch. 7, 53-69.
- [9] D. Li, J. Gao, P. Cheng, J. He, Y. Yin, Y. Hu, L. Chen, Y. Cheng, J. Zhao. 2D boron sheets: Structure, growth, and electronic and thermal transport properties. *Adv. Funct. Mater.*, 2019, 30, 1904349 (1-32).
- [10] Y. Tian, Z. Guo, T. Zhang, H. Lin, Z. Li, J. Chen, S. Deng, F. Liu. Inorganic boron-based nanostructures: Synthesis, optoelectronic properties, and prospective applications. *Nanomaterials*, 2019, 9 (4), 538 (1-22).
- [11] I. Boustani. *Molecular Modelling and Synthesis of Nanomaterials. Applications in Carbon- and Boron-Based Nanotechnology*, 2020, Cham, Springer Nature.
- [12] Eds. I. Matsuda, K. Wu. *2D Boron: Boraphene, Borophene, Boronene*, 2021, Cham, Springer Nature.
- [13] L. Chkhartishvili. Relative stability of boron planar clusters in diatomic molecular model. *Molecules*, 2022, 27 (5), 1469 (1-20).
- [14] T. Odishvili, L. Chkhartishvili. All-boron planar clusters with electric dipole moment. *Solid State Sci.*, 2025, 160, 107833 (1-4).

Polarity of chemical bonds in planar boron clusters

Tornike Odishvili, Levan Chkhartishvili

Georgian Technical University

odishvilitoko@gmail.com , levanchkhartishvili@gtu.ge

Summary

Boron clusters B_n, in which the number of atoms $n \leq 20$, have a planar or quasi-planar structure in the ground state. Due to their small size, the numbers of differently coordinated central and peripheral atomic sites are comparable, which leads to the polarity of B–B chemical bonds. In the paper, this issue is investigated theoretically – in the model of point static atomic charges. The obtained results may find practical application, since it is quasi-planar boron clusters that play the role of “building blocks” in the growth technologies of borophenes and other promising boron-based 2D-materials.

Keywords: coordination number, atomic charge, bond polarity, dipole moment, cluster, boron

Equivariant fiber Shape Category of Equivariant Continuous Maps

Maia Dzadzamia, Lela Turmanidze, Ruslan Tsinaridze

maia.dzadzamia@bsu.edu.ge, lela.turmanidze@bsu.edu.ge, ruslan.tsinaridze@bsu.edu.ge

Batumi Shota Rustaveli State University

Abstract

The shape theory of continuous maps is a new branch of classical shape theory. It is a meaningful extension of the homotopy theory of absolute neighborhood retracts for the category of maps of metrizable spaces. In this report we investigate equivariant theory of absolute (neighborhood) retracts and extensors for maps of topological G -spaces from a weakly hereditary class. Here we define the notion of equivariant fiber resolution of G -map. Obtained results we use for construction the equivariant fiber shape category of G -maps.

Keywords and Phrases: G -map, equivariant absolute (neighborhood) retracts and extensors for G -maps, equivariant fiber resolution, equivariant shape category of G -maps. extensors for G -maps, equivariant fiber resolution and equivariant shape category of G -maps.

1. Introduction.

The purpose of this work is to construct an equivariant fiber shape category of continuous G -maps. For this aim we develop equivariant retracts and extensors of G -maps. The notion of retracts of maps firstly was defined by Dold [5]. There he considered Euklidean neighborhood retracts over a fixed space B . The absolute (neighborhood) retracts and extensors for the category of maps of metrizable spaces were introduced by Ungar [7] and Nepomniachy and Smirnov [6]. V. Baladze [2,3] investigated the general theory of absolute (neighborhood) retracts and extensors for maps of topological spaces from a weakly hereditary topological class. In this paper we define equivariant (neighborhood) retracts and extensors for the category $\mathbf{Mor}_K$, where K is equivariant weekly hereditary class. Also in this work we investigate equivariant fiber resolutions of G -maps. The theorems of the existence of equivariant fiber resolution are proved. Obtained results we use for construction the equivariant fiber shape category.

Equivariant fiber Shape Category of Continuous Maps

Let K be a full subcategory of the category $\mathbf{Top}_G$ and $\mathbf{Mor}_K$ is the category of morphisms of K which is a weakly hereditary class of objects of $\mathbf{Top}_G$. It means:

i. If G -space $X \in ob(K)$ and $f: X \rightarrow Y$ is an equivariant homomorphism, then $Y \in ob(K)$;

ii. If G -space $X \in ob(K)$ and A is a closed invariant subset of X , then $A \in ob(K)$

A G -map $f: X \rightarrow Y$ of the category $\mathbf{Mor}_K$ is called an absolute G -retract for the category $\mathbf{Mor}_K$ ($f \in (AR_G(\mathbf{Mor}_K))$) if for each closed G -embedding $(i; i'): f \rightarrow f' \in \mathbf{Mor}_K$ there exists a G -retraction $(r; r'): f' \rightarrow (i; i')(f)$.

A $\mathbf{G}$ -map $f \in \mathbf{Mor}_k$ is called an absolute neighborhood $\mathbf{G}$ -retract for the category $\mathbf{Mor}_k$ ($f \in (\mathbf{ANR}_G(\mathbf{Mor}_k))$), if for every closed $\mathbf{G}$ -embedding $(i; i'): f \rightarrow f' \in \mathbf{Mor}_k$ there exist a neighborhood f'' of $(i; i')(f)$ in f' and a $\mathbf{G}$ -retraction $(r; r'): f'' \rightarrow (i; i')(f)$.

By $\mathbf{AR}_G(\mathbf{Mor}_k)$ ($\mathbf{ANR}_G(\mathbf{Mor}_k)$) we denote the category of all absolute $\mathbf{G}$ -retracts (absolute neighborhood $\mathbf{G}$ -retracts) for the category $\mathbf{Mor}_k$.

By $\mathbf{H}(\mathbf{AR}_G(\mathbf{Mor}_k))$ ($\mathbf{H}(\mathbf{ANR}_G(\mathbf{Mor}_k))$) we denote the $\mathbf{G}$ -homotopy category of category $\mathbf{AR}_G(\mathbf{Mor}_k)$ ($\mathbf{ANR}_G(\mathbf{Mor}_k)$).

It is clear, if $f \in (\mathbf{AR}(\mathbf{Mor}_k))$, then $f \in (\mathbf{ANR}(\mathbf{Mor}_k))$.

A $\mathbf{G}$ -map $f \in (\mathbf{A(N)R}(\mathbf{Mor}_k))$ is also called an $\mathbf{A(N)R}_G(\mathbf{Mor}_k)$ -map.

Definition 2. A $\mathbf{G}$ -map h is called an absolute (neighborhood) extensor for the category $\mathbf{Mor}_k$ ($h \in (\mathbf{A(N)E}_G(\mathbf{Mor}_k))$) whenever f is a closed $\mathbf{G}$ -submap of a $\mathbf{G}$ -map $f' \in \mathbf{Mor}_k$, then any morphism $(\varphi; \varphi'): f \rightarrow h$ has a $\mathbf{G}$ -extension $(\tilde{\varphi}; \tilde{\varphi}')$ from f' (some neighborhood f'' of f in f') into h .

By $\mathbf{AE}_G(\mathbf{Mor}_k)$ ($\mathbf{ANE}_G(\mathbf{Mor}_k)$) we denote the category of all absolute extensors (absolute neighborhood extensors) for the category $\mathbf{Mor}_k$.

By $\mathbf{H}(\mathbf{AE}_G(\mathbf{Mor}_k))$ ($\mathbf{H}(\mathbf{ANE}_G(\mathbf{Mor}_k))$) we denote the $\mathbf{G}$ -homotopy category of category $\mathbf{AE}_G(\mathbf{Mor}_k)$ ($\mathbf{ANE}_G(\mathbf{Mor}_k)$).

Clearly, if $h \in \mathbf{AE}_G(\mathbf{Mor}_k)$, then $h \in (\mathbf{ANE}_G(\mathbf{Mor}_k))$.

A $\mathbf{G}$ -map $h \in (\mathbf{A(N)E}_G(\mathbf{Mor}_k))$ is also called an $\mathbf{A(N)E}_G(\mathbf{Mor}_k)$ -map.

Proposition 1. If M and N are $\mathbf{A(N)E}_G(K)$ -spaces, then the projection $\pi_N: M \times N \rightarrow N$ is an $\mathbf{A(N)E}_G(\mathbf{Mor}_k)$ -map.

Proposition 2. If $p_\alpha: E_\alpha \rightarrow B_\alpha$, $\alpha \in A$, is an $\mathbf{AE}_G(\mathbf{Mor}_k)$ -map, then

$$\prod_{\alpha \in A} p_\alpha: \prod_{\alpha \in A} E_\alpha \rightarrow \prod_{\alpha \in A} B_\alpha$$

is an $\mathbf{AE}_G(\mathbf{Mor}_k)$ -map.

Proposition 3. Let $p_i: E_i \rightarrow B_i; i = 1, 2, \dots, n$, are $\mathbf{A(N)E}_G(\mathbf{Mor}_k)$ -maps. Then

$$\prod_{i=1}^n p_i: \prod_{i=1}^n E_i \rightarrow \prod_{i=1}^n B_i$$

is an $\mathbf{A(N)E}_G(\mathbf{Mor}_k)$ -map.

Proposition 4. Every retract (neighborhood retract) $p': E' \rightarrow B'$ of an $\mathbf{AE}_G(\mathbf{Mor}_k)$ -map ($\mathbf{A(N)E}_G(\mathbf{Mor}_k)$ -map) $p: E \rightarrow B$ is an $\mathbf{AE}_G(\mathbf{Mor}_k)$ -map. ($\mathbf{A(N)E}_G(\mathbf{Mor}_k)$ -map).

Let $\mathbf{f} = \{f_\mu, (p_{\mu\nu}, p'_{\mu\nu}), M\}$ an inverse system of the category $\mathbf{pro} - \mathbf{Mor}_{\mathbf{Top}_G}$ and let (f) be a rudimentary system whose term is only a $\mathbf{G}$ -map $f: X \rightarrow X'$ of a category $\mathbf{Top}_G$. **Definition**

5. An equivariant fiber resolution of a G - map f is a morphism $(\mathbf{p}, \mathbf{p}') = \{(p_\mu, p_{\mu'}), \mu \in M\}: (f) \rightarrow \mathbf{f}$ of the category $\mathbf{pro} - \mathbf{Mor}_{\mathbf{Top}_G}$ which for any $G - ANR(Mor_M)$ -map $t: P \rightarrow P'$ and a pair (α, α') of coverings $\alpha \in Cov(P)$ and $\alpha' \in Cov(P')$ satisfies the following two conditions:

EFR1) for every morphism $(\varphi, \varphi'): f \rightarrow t$ there exist $\mu \in M$ and a morphism $(\varphi_\mu, \varphi'_{\mu'}): f_\mu \rightarrow t$ such that $(\varphi_\mu, \varphi'_{\mu'}) \cdot (p_\mu, p_{\mu'})$ and (φ, φ') are (α, α') -near;

EFR2) there exist a pair (β, β') of coverings $\beta \in Cov(P)$ and $\beta' \in Cov(P')$ with the following property, if $\mu \in M$ and $(\varphi_\mu, \varphi'_{\mu'}), (\psi_\mu, \psi'_{\mu'}): f_\mu \rightarrow t$ are morphisms such that the morphisms $(\varphi_\mu, \varphi'_{\mu'}) \cdot (p_\mu, p_{\mu'})$ and $(\psi_\mu, \psi'_{\mu'}) \cdot (p_\mu, p_{\mu'})$ are (β, β') -near, then there exists a $\mu' \geq \mu$ such that $(\varphi_\mu, \varphi'_{\mu'}) \cdot (p_\mu, p_{\mu'})$ and $(\psi_\mu, \psi'_{\mu'}) \cdot (p_\mu, p_{\mu'})$ are (α, α') -near.

If in a equivariant fiber resolution $(\mathbf{p}, \mathbf{p}'): (f) \rightarrow \mathbf{f}$ all f_μ are $G - ANR(Mor_M)$ -maps, then $(\mathbf{p}, \mathbf{p}')$ we call an $G - ANR(Mor_M)$ - fiber resolution.

Theorem 6. Every G -map $f: X \rightarrow X'$ of topological G -spaces admits an $G - ANR(Mor_M)$ - fiber resolution.

Lemma 7. Let $p: E \rightarrow B$ be a G -map and let $r': P' \rightarrow Q', r: P \rightarrow Q$ be $G - ANR(Mor_M)$ -maps. Let $(f, f_1): p \rightarrow r'$ and $(h_0, h_0'), (h_1, h_1'): r' \rightarrow r$ be morphisms such that $(h_0, h_0') \cdot (f, f_1)$ and $(h_1, h_1') \cdot (f, f_1)$ are G -homotopic. Then there exist a $G - ANR(Mor_M)$ -map $r'': P'' \rightarrow Q''$ and morphisms $(f', f'_1): p \rightarrow r''$ and $(h, h'): r'' \rightarrow r'$ such that $(f, f_1) = (h, h') \cdot (f', f'_1)$ and $(h_0, h_0') \cdot (h, h') \simeq_G (h_1, h_1') \cdot (h, h')$.

Definition 8. Let $f: X \rightarrow X'$ be a G -map of topological G -spaces, $[\mathbf{f}] = \{f_\lambda, [(p_{\lambda\lambda'}, p'_{\lambda\lambda'})], \Lambda\}$ be an inverse system in $\mathbf{H}(\mathbf{Mor}_{\mathbf{Top}_G})$ and $[(\mathbf{p}, \mathbf{p}')] : f \rightarrow [\mathbf{f}]$ be a morphism of $\mathbf{pro} - \mathbf{H}(\mathbf{pro} - \mathbf{Mor}_{\mathbf{Top}_G})$. We call $[(\mathbf{p}, \mathbf{p}')]$ an equivariant fiber expansion of the G -map f , provided it has the following properties:

FE1) for every $G - ANR(Mor_M)$ -map $t: P \rightarrow P'$ and a morphism $(\varphi, \varphi'): f \rightarrow t$ there is an index $\lambda \in \Lambda$ and a morphism $(\varphi_\lambda, \varphi'_\lambda): f_\lambda \rightarrow t$ such that $(\varphi, \varphi') \simeq_G (\varphi_\lambda, \varphi'_\lambda) \cdot (p_\lambda, p'_\lambda)$;

FE2) $(\varphi_\lambda, \varphi'_\lambda), (\psi_\lambda, \psi'_\lambda): f_\lambda \rightarrow t$ are morphisms into a $G - ANR(Mor_M)$ -map $t: P \rightarrow P'$ and $(\varphi_\lambda, \varphi'_\lambda) \cdot (p_\lambda, p'_\lambda) \simeq_G (\psi_\lambda, \psi'_\lambda) \cdot (p_\lambda, p'_\lambda)$, then there exists an index $\lambda' \geq \lambda$ such that $(\varphi, \varphi') \cdot (p_{\lambda\lambda'}, p'_{\lambda\lambda'}) \simeq_G (\psi, \psi') \cdot (p_{\lambda\lambda'}, p'_{\lambda\lambda'})$.

If all $f_\lambda \in G - ANR(Mor_M)$, then $[(\mathbf{p}, \mathbf{p}')] : f \rightarrow [\mathbf{f}]$ is called $G - ANR(Mor_M)$ -fiber expansion.

Theorem 9. If morphisms $(\mathbf{p}, \mathbf{p}'): f \rightarrow \mathbf{f}$ is an equivariant fiber resolution of a G -map $f: X \rightarrow X'$, then $[(\mathbf{p}, \mathbf{p}')] : f \rightarrow [\mathbf{f}]$ is an equivariant fiber expansion.

Theorem 10. Let $\pi: M \rightarrow M'$ be an $G - ANR(Mor_M)$ - map and let $f: X \rightarrow X'$ be a closed submap of π . Let $\mathbf{f} = \{f_\lambda, (p_{\lambda\lambda'}, p'_{\lambda\lambda'}), \Lambda\}$ be the inverse system which consists of all neighborhoods $f_\lambda: U_\lambda \rightarrow U'_\lambda$ of f in π and embedding morphisms $(p_{\lambda\lambda'}, p'_{\lambda\lambda'}): f_{\lambda'} \rightarrow f_\lambda$ for every $\lambda \leq \lambda'$. Then the family $\{(p_\lambda, p'_\lambda), \lambda \in \Lambda\}$ consisting of equivariant embeddings $(p_\lambda, p'_\lambda): f \rightarrow f_\lambda$ is the $G - ANR(Mor_M)$ -fiber resolution.

Theorem 11. The category $H(\text{ANR}_G(\text{Mor}_K))$ is a dense subcategory of the category $H(\text{Mor}_{\text{Top}_G})$.

The equivariant shape category FSh_G of equivariant continuous maps is an abstract shape category $Sh_{(K,L)}$ where $K = H(\text{Mor}_{\text{Top}_G})$ and $L = H(\text{ANR}_G(\text{Mor}_K))$. Objects of the equivariant fiber shape category are all equivariant continuous maps of topological G -spaces. The morphisms of FSh_G are the equivalence classes of morphisms in $\text{pro} - K$. The morphisms of FSh_G from the map f to the map g are given by the triples $[(p, p')], [(q, q')], [(\varphi, \varphi')]$, where $[(p, p')] : f \rightarrow [f], [(q, q')] : g \rightarrow [g]$ are $G - \text{ANR}(\text{Mor}_M)$ -fiber expansions of f and g , respectively, and $[(\varphi, \varphi')] : [f] \rightarrow [g]$ is a morphism of $\text{pro} - \text{Mor}_{\text{Top}_G}$. We can define a fiber shape morphism $(\Phi, \Phi') : f \rightarrow g$ one chooses $H(\text{ANR}_G(\text{Mor}_K))$ -fiber resolutions $(p, p') : f \rightarrow [f]$ and $(q, q') : g \rightarrow [g]$, which exist by Theorem 9, and one chooses a morphism $[(\varphi, \varphi')] : [f] \rightarrow [g]$ of $\text{pro} - \text{Mor}_{\text{Top}_G}$.

By $FS_G((\varphi, \varphi'))$ we denote the class of the morphism $[(\varphi, \varphi')] \in \text{pro} - (G - \text{ANR}(\text{Mor}_M))([f], [g])$.

Let $FS_G(f) = f$ for every $f \in H(\text{Mor}_{\text{Top}_G})$. We obtain the fiber shape functor

$$FS_G : H(\text{Mor}_{\text{Top}_G}) \rightarrow FSh_G.$$

We say that the continuous maps f and g have the same fiber shape, and we write $FS_G(f) = FS_G(h)$ provided they are isomorphic objects of the fiber shape category FSh_G . If f and g are equivalent objects of the category $H(\text{Mor}_{\text{Top}_G})$, then $FS_G(f) = FS_G(h)$.

Corollary 12. The fiber shape functor FS_G induces an isomorphism between $G - \text{ANR}(\text{Mor}_M)$ and the full subcategory of the fiber shape category restricted to objects of $H(\text{ANR}(\text{Mor}_M))$.

References:

1. S. A. Antonian and S. Mardešić', Equivariant shape. Fund. Math., 127 (1987), 213–224.
2. V. Baladze, On shape theory for fibrations, Bull. Georgian Acad. Sci., 129(1988), 269–272.
3. V. Baladze, Fiber shape theory and resolutions, Zb. Rad. Filoz. Fak. Nisu, Ser. Mat., 5(1991), 97–107.
4. V. Baladze, Fiber shape theory, Proc. A. Razmadze Math. Inst., 132(2003), 1–70.
5. A. Dold, The fixed index of fibre-demanding maps. Invert. Math. 25(1974), 281–289.
6. G.M. Nepomniachy, Yu.M. Smirnov, On retraction of mappings. (Russian) Czechoslovak math. J. 104(1979), No.29, 366–377.
7. G. S. Ungar, ANR's and NES's in the category of mapping of metric spaces. Fund. Math. 95(1977), 111–127.

IT in Engineering. Current Status and Prospects

Zurab Megrelishvili¹, Ibraim Didmanidze¹, Georgy Megrelishvili²

¹Batumi Shota Rustaveli State University

²LTD „Brain Storm“, Batumi

zurab.megrelishvili@bsu.edu.ge, ibraim.didmanidze@bsu.edu.ge, nonamege@gmail.com

Abstract

Currently, there is no field of activity in which the participation of an engineer is not required. Products created by the engineering industry are needed everywhere where people live and work. Our century has created new challenges for engineering. Engineering industry products must be created not only quickly, but also with high quality, ensuring a comfortable living or working environment for people and for the safety of the environment. Based on all this, it is interesting how IT technologies have been entering the engineering field and how computerization of this field contributes to it.

The main advantages of new engineering technologies are relatively low price, high quality, and safety. For a long time, they were developed with the aim of creating the most comfortable and high-quality products in the shortest possible time, products that would meet all reliability standards. In recent years, engineering technologies have reached a new, higher level, significantly reducing product manufacturing time and improving human and environmental safety.

Key words: Engineering, technologies, computerization, software.

1. Introduction.

In recent years, along with the refinement and radical improvement of old traditional methods, new technologies have been systematically developed and implemented in engineering practice. At the current level of development of science and technology, the need to combine computing and various technological processes is becoming more and more obvious [1]. Such a combination, in turn, allows for the formation of critical infrastructure, which requires provision for possible risks, i.e. risk management [2,3]. Computer technologies can be used to develop mathematical models of various processes, and even those that will improve over time [4,5]. Artificial intelligence is already used in financial management, text translation, music, visual arts, and transportation [6,7].

Before the invention of computers and graphics software, all engineering structures and technological processes were designed using "paper" technology. Almost all drawings were done using only pencil or ink on paper formats. All documentation was kept on paper.

This situation has changed radically since the advent of CAD (Computer Aided Design) systems. They were created to automate the preparation of graphic documentation in engineering. It became possible to automate the most laborious tasks. Then its capabilities gradually expanded.

Today, the qualitative progress of computer technology in engineering is evident. Using it, the user creates not only a drawing, an electronic copy of the created object, a full-fledged project, but also allows for virtual analysis of the created structure or technological process.

A good example of the creation and use of computer programs in engineering technologies is the development of a maintenance-free technology for the regeneration of cationic filters [8]. Protecting the purity of water sources for drinking water supply and economic activity is one of the most important tasks for the economic growth of any country. The purity of water resources can be maintained by preventing the discharge of industrial and domestic wastewater into water bodies [9,10]. This requires not only the development of technologies for treating wastewater with low or no contaminants, but also the creation of a mathematical model of the system that will allow for competent management decisions.

In solving this problem, not only a new technology for the regeneration of cationic filters and a mathematical model of the process were developed, but also a new sampling design [11] and a computer program package [12] were patented, that establishes the optimal technological parameters of the process and is used in its management.

Today, designing engineering objects and using new materials is unthinkable without the use of computer technology. IT technologies are used at all stages of the work process, from the project initiation and development stage to the commissioning of the completed facility.

The use of modern geographic information systems (GIS) allows us to choose the right solution for the geographical location of designed facilities and at the same time identify expected risks. The use of computer technology at the stage of producing working drawings and layouts solves the problem of development delays, simplifies many operations, which allows us to obtain effective results and high quality.

2. Main part.

Implementing the latest technologies in engineering is not easy, as the basic safety requirements of the facilities must be taken into account, each technology has a regulatory framework, standardization and the final cost of its implementation must be adequate. Any new technology requires an appropriate user interface and the full experience of the project team, quality control, and periodic staff training.

New IT technologies are being actively promoted and used in various fields of engineering around the world. In addition, the rapid development of technology is leading to the massive digitization of the engineering industry. Modern innovation transforms engineering facilities, increases profits, and helps project managers in their daily work. The introduction of new innovations and the creation of a virtual model of the facility allow for the management of possible risks and the prevention of possible man-made accidents. At the same time, it brings economic benefits and increases the competitiveness of a particular company.

In engineering, as well as in various areas of public life, in order to use IT technologies rationally, it is desirable to first classify them:

- By the method of implementation in an automated information system.
- By the level of penetration into management tasks.
- By the types of operations.
- By the type of user interface.

In engineering, particular in construction, CAD systems are used to implement IT technologies. Modern CAD systems are the basis for creating a computer model of a construction object. They can be used for:

- Architectural planning;
- Solving project planning problems;
- Making design decisions;
- Calculating the mechanical characteristics of structures (strength, stiffness, stability, etc.);
- Creating and identifying risks, documentation, design and evaluation;
- Managing the technological process itself.

The most popular engineering programs include AutoCAD; ArchiCAD; nanoCAD; Revit; SCAD Office and others.

The initial CAD data actually represents the basic requirements of the object to be designed, which the engineer memorizes during the work process. They also check the current and final results, edit the current draft if necessary, etc.

There are many CAD programs, with varying levels of complexity. The most widespread are those programs that focus mainly on "open" (with the possibility of further modification) programs, which are aimed at the development of graphic design and are mainly used for the purpose of solving calculation or technological problems [13].

Today, engineering has gone beyond the scope of design tasks and has encompassed a broader range of IT technologies. Popular modern technologies today include:

BIM - (building information modeling) - all object data in one window.

With the help of BIM technology, the design of the object is carried out in the format of a complex three-dimensional model. It contains information about the appearance of the object's design, structural elements, engineering networks and their interaction.

Projection is carried out using a 3D model of the object's drawings, which can be moved in space, moving along it. Such models are easier to estimate the volume than two-dimensional ones. Planning work costs, possible risks, cost of individual construction elements, as well as logistics costs are shown in the information about the object.

After creating a 3D model and analyzing it in three-dimensional space, we may notice coincidences that are not visible in the drawings. This allows us to make the necessary corrections in a timely manner. A single action of changing a parameter of a 3D model starts the process of correcting the objects associated with it, which significantly saves time when eliminating errors.

Finally, an executive study is performed after the virtual creation of the object is completed, all data about the object's production is reflected in a single system. Working with a BIM model involves the inclusion of cloud services for real-time exchange of data and information. Cloud services can include a variety of segmented information and tools, ranging from design tools to project management systems. These systems are accessible to any participant from a mobile device at any time, which increases the effect of mutual collaboration [14].

Artificial intelligence (AI) is the "behavior" of a machine, a type of technology that mimics human cognitive functions: solving problems, recognizing images, objects, and learning. There is also a special area of AI - machine learning, which is based on collecting statistical data, creating computer databases, on the basis of which conclusions are drawn and results are obtained. Major and not only major new technologies in engineering are unthinkable without machine learning and AI. In fact, it is an invisible assistant that analyzes terabytes of data, finding problems. This can be both a routine filtering of unnecessary information, and a search for specific data. Applications that use the AI platform are used to:

- Predictive analysis - predicting security threats based on collected data; controlling the area, determining the number of personnel on site, ensuring occupational safety;
- Facility planning and design - collected and modeled data will help prevent budget overruns, monitor risks, and set priorities;
- Robotic mechanisms, process automation - performing routine, simple, but time-consuming operations on a construction site, replacing human forces, optimizing work processes where high productivity is required.

Internet of Things technology is closely related to cloud systems and AI, as IoT (Internet of Things) is ineffective without analysis and data collection algorithms. The Internet of Things is providing significant assistance in solving a number of engineering problems. Thanks to a variety of sensors on a construction site, factory premises, or in any workshop, project management becomes more efficient and convenient, and the ongoing process itself is safer and optimized. The advantages of Internet of Things technology are the following:

- *Increase productivity* - often, companies manage several facilities located in different locations, and it is important to control the lifecycle of each of them and meet deadlines. Sensors collect data on the construction site, factory, workshop, then process it using programs and provide the contractor with a complete picture of the work situation. The technology helps control large-scale projects.
- *Safety and Security* - the problem of damage and human injury in modern industrial facilities is still relevant. IoT can significantly reduce risk and prevent accidents. Sensors on personnel's clothing, sensors on objects, sensors in materials monitor the movement of people, harmful substances in the air, violations of building material storage rules, emergency situations, etc. Sensors on materials also prevent theft.

- *Resource management* - IoT also optimizes facility maintenance and resource supply costs. Smart sensors can help you save and monitor electricity, water, or fuel consumption and optimize costs [15].

Among the new technologies in architecture and construction, virtual reality (VR) is particularly important. It creates a "real" world in a digital environment using photography and 360° video. The capabilities of this technology provide navigation in a realistic digital environment, where you can also interact with objects in real time. Virtual reality is much more than just enhancing the perception of created multidimensional models. It is an opportunity to showcase the project manager's exceptional expertise, which adds more professional decisions, expert judgment, and risk management to the project.

Although in engineering there is a clear tendency to replace human labor with machinery, manual labor still prevails and is sometimes the only option for productivity. But gradually, engineering is introducing smart solutions, the use of drones. This technology has much more to do with engineering facilities, their safety, and commercial purposes than just aerial photography of facilities. Drones are useful as - security control. There is no need to personally inspect the area to monitor and identify dangerous areas. Sensor-related programs are used to supply facilities, reduce the number of vehicles, optimize the supply, storage, and consumption of materials, and simplify the resolution of labor safety issues. Robotized special equipment increases labor efficiency, since in such an "environment" human strength increases many times over, and work is much safer.

Modeling technology has long served the engineering industry, but it has only gained widespread popularity in recent years due to the following technological advantages:

- Speed;
- Accuracy (minimum errors);
- Design versatility;
- High level of performance;
- Savings on additional costs of materials, transportation and personnel;

Big Data means various technological parameters, data, information not only from people, but also from various sensors, systems, and programs - AI (artificial intelligence), ML (machine learning), and IoT (Internet of Things) together.

It is possible to determine patterns of weather or climatic conditions (and other conditions) at a proposed construction site to calculate the best time to start construction and predict the smooth operation of the project. Also, data set analysis provides important predictive conclusions about the feasibility of certain works, reducing costs by optimizing the initial scenario or making changes.

A computer model combines information into a single environment that is accessible to all. A BIM model is generally static, while a dynamic digital twin changes over time. It is possible to double check various scenarios and threats - the impact of natural disasters, various emergency situations - fire or element breakdown using simulation. Based on the BIM model, a digital twin can "test" various situations, including critical ones. Digital twins are most convenient for predictive functions. This technology allows for an accurate understanding of potential problems in ensuring that a facility can withstand the expected load, allowing engineers and managers to avoid unnecessary costs. Optimize processes and make changes at an early stage.

Blockchain technology was originally designed to support cryptocurrency transactions, but its security and transparency guarantees are now being effectively applied to multi-step processes such as engineering. This technology is interesting in that it does not require the presence of intermediaries, as in standard databases: information is exchanged between end users without a central computer. Blockchain is digital information stored in a transactional database that is controlled by computer systems or verified by a corresponding computer network. The security of the program data is controlled by each member of the network, which is responsible for protecting them with digital signatures and ensuring fast and secure exchange of information. Decentralization of operations, where responsibility and assurance are assigned to stakeholders in the network, is a key advantage of Blockchain.

In engineering, Blockchain is implemented in the form of smart contracts, which act as an "administrator" for all parties to the contract. The digital protocol of the smart contract is located on the Blockchain network. As is known, several companies, subcontractors, and suppliers participate in solving engineering issues. All project data is stored in one centralized location, with the help of which the engineering facility is monitored and managed. But with Blockchain technology, project data can be tracked more efficiently. Blockchain technology provides transparency in the process of creating engineering objects, which increases the efficiency of work on the project. Moreover, it promotes teamwork and timely decision-making, minimizing risk. Blockchain platform simplifies processes such as:

- Payment;
- Transaction completion;
- Inspection of buildings / facilities;
- Transparency and security of processes;

Blockchain reduces the level of fragmentation of the engineering facility process, helps track each stage and optimally allocate resources.

3. Conclusion.

The development of the country requires the introduction of modern IT technologies and large-scale digitalization in all areas of the economy. This is also being successfully implemented in the engineering industry. The introduction of various computer technologies is a requirement of the modern market, where efficiency, time, cost reduction, and human and environmental safety are prioritized. Therefore, solving engineering problems becomes effective not only with computer programs used in design, but also in the direct process of creating an object, using robots, 3D printing, sensors, smart materials and technologies.

References:

- [1]. Gitelman, L.; Kozhevnikov, M.; Visotskaya, Y. Diversification as a Method of Ensuring the Sustainability of Energy Supply within the Energy Transition. *Resources* **2023**, *12*, 19. <https://doi.org/10.3390/resources12020019>
- [2]. Alpcan, T. (2015). Game Theory for Security. In: Baillieul, J., Samad, T. (eds) Encyclopedia of Systems and Control. Springer, London. https://doi.org/10.1007/978-1-4471-5058-9_37
- [3]. Alexei A Gaivoronski and Yuri Ermoliev. Optimization of Simulation Models and other Complex Problems with Stochastic Gradient Methods. In: Alexei A. Gaivoronski, Pavlo S. Knopov, Volodymyr A. Zaslavskiy (eds) Modern Optimization Methods for Decision Making Under Risk and Uncertainty. CRC Press Taylor & Francis Group, London, New York, 2023, pp. 1-15;
- [4]. Zaslavskiy V., Pasichna M. (2019) Optimization Techniques for Modelling Energy Generation Portfolios in Ukraine and the EU: Comparative Analysis. In: Zamojski W., Mazurkiewicz J., Sugier J., Walkowiak T., Kacprzyk J. (eds) Contemporary Complex Systems and Their Dependability. DepCoS-RELCOMEX 2018. Advances in Intelligent Systems and Computing, vol 761. Springer, Cham, pp 545-555;
- [5]. Rusyn, B.P., Lutsyk, O.A. & Kosarevych, R.Y. Evaluating the Informativity of a Training Sample for Image Classification by Deep Learning Methods. *Cybern Syst Anal* **57**, 853–863 (2021). <https://doi.org/10.1007/s10559-021-00411-4>;
- [6]. Khilenko, V., Akhmetov, B., Berdibayev, R. *et al.* Increasing the Speed of Banking Cybersecurity Systems Based on Intelligent Data Analysis and Artificial Intelligence Algorithms for Predicting Cyberattacks. I. *Cybern Syst Anal* **59**, 519–525 (2023). <https://doi.org/10.1007/s10559-023-00587-x> ;
- [7]. Stetsyuk P.I., Stovba V.O., Tregubenko, S.S. *et al.* Modifications of the Two-Stage Transportation Problem and Their Applications*. *Cybern Syst Anal* **58**, 898–913 (2022). <https://doi.org/10.1007/s10559-023-00523-z>
- [8]. Zurab Megrelishvili; Ibraim Didmanidze; Volodymyr Zaslavskiy; David Chkhubiani; Didar Didmanidze. Mathematical and Software Provision for Optimization of Water Treatment Processes. 13th International Conference on Dependable Systems, Services and Technologies (DESSERT). 13-15 October 2023. Athens, Greece. Date Added to IEEE Xplore: 06 February 2024. Publisher: IEEE, Pages 1-8. DOI: 10.1109/DESSERT61349.2023.10416442,

- [9]. Megrelishvili Z., Didmanidze I., Zaslavskiy V. Development of Technology for Utilization of Sulphate Waste Water of Detergents Production. In: Ivanov V. et al. (eds) Advances in Design, Simulation and Manufacturing II. DSMIE 2019. Lecture Notes in Mechanical Engineering. Springer, Cham. ISBN 978-3-030-22364-9, DOI https://doi.org/10.1007/978-3-030-22365-6_78, pp. 785-794;
- [10]. Galkina, E., Vasyutina, O.: Reuse of treated wastewater. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 365, 022047 (2018).
- [11]. <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/365/2/022047/pdf> ;
- [12]. Zurab Megrelishvili, Vladimir Chkhaidze. Georgian Patent GE P 2010 4952 B, Device for Sampling Loose Materials, published 2010 04 12, International Classification Index C 0,1 N 1/20, Sakpatenti, Bulletin #7 2010. (in Georgian);
- [13]. Gogichaishvili Giorgi, Megrelishvili Zurab, Didmanidze Ibraimi, Kakhiani Grigoli. Computer program "Calculation program for optimization of the regeneration process and operation of a cationic filter" Sakpatenti, certificate 3028, 2008.03.24 (in Georgian);
- [14]. I. Kvaraya, Modern technologies of construction production, GTU, Tbilisi. 2018. 104. p. (in Georgian);
- [15]. Z. Ezugbaya, I. Kvaraya, I. Iremashvili, N. Mskhiladze, construction production technology, GTU, Tbilisi, 2017. 103. p. (in Georgian);
- [16]. Z. Ezugbaya, sh. Bakanidze, I. Kvaraya, I. Iremashvili, Technology of construction processes, I and II part, GTU, Tbilisi. 2016. 203. p. (in Georgian);

ქალაქ ბათუმის მწვანე ფუნქციური რეკრეაციული ზონების ტერიტორიული ორგანიზაცია და ეკოლოგიური მდგომარეობა მერაბ ფუტკარაძე, მონიკა ლიპარტია

ბათუმის შოთა რუსთაველის სახელმწიფო უნივერსიტეტი
merab.putkaradze@bsu.edu.ge, monikalipartia12@gmail.com

რეზიუმე

კვლევის ტრადიციული და თანამედროვე მეთოდების საშუალებით შესწავლილია ქალაქ ბათუმის მწვანე ფუნქციური ზონების ტერიტორიული ორგანიზაცია, მათი რეკრეაციული მნიშვნელობა და პოტენციალი. შეფასებულია რეკრეაციულ ზონებში ადგილობრივი მოსახლეობისა და ტურისტთა გამტარობის პოტენციალის ძირითადი მახასიათებლები. გარკვეულია ცალკეულ მწვანე ფუნქციურ რეკრეაციულ ზონებში რეკრეაციულ საქმიანობასთან დაკავშირებული ეკოლოგიური პრობლემები. კვლევის საფუძველზე დასახულია მწვანე ფუნქციური რეკრეაციული ზონების რაციონალური ბუნებათსარგებლობის გამოყენების გზები და ქალაქის შიდა ტერიტორიული სისტემების ჰარმონიული ფუნქციონირების ოპტიმიზაციის საკითხები.

საკვანძო სიტყვები: რეკრეაცია, ტურიზმი, დასვენება, ეკოლოგია

1. შესავალი.

კვლევის ძირითადი მიზანია, შეფასდეს ქალაქ ბათუმის მწვანე ფუნქციური რეკრეაციული ზონების ტურისტულ-რეკრეაციული პოტენციალი, მათი როლი და მნიშვნელობა ტურიზმის განვითარებაში და ადგილობრივი მოსახლეობის დასვენების საქმეში. აგრეთვე, დადგინდეს რეკრეაციული ზონებში ბუნებათსარგებლობასთან დაკავშირებული პრობლემები და მათი მოგვარების გზები. დასახული მიზნის მისაღწევად საჭიროა შემდეგი ამოცანების გადაჭრა:

- დადგინდეს მწვანე ფუნქციური ზონების რაოდენობა, ფართობი, ტურისტულ-რეკრეაციული პოტენციალი და მათი ტერიტორიული ორგანიზაციის თავისებურებები;
- გარკვეული იქნეს მწვანე ფუნქციური რეკრეაციული ზონების ტურისტულ-რეკრეაციული პოტენციალი, როლი და ადგილი ქალაქის ფუნქციურ სტრუქტურაში;
- შესწავლილი იქნას მწვანე რეკრეაციულ ზონებში ტურისტთა გამტარობის ეკოლოგიური პოტენციალი და მის საფუძველზე გამოვლინდეს ეკოლოგიური პრობლემები;
- შეფასდეს მწვანე ფუნქციური რეკრეაციული ზონების ბუნებათსარგებლობის ეკოლოგიური მდგომარეობა და დადგინდეს მათი რეკრეაციული მიზნებით გამოყენების ძირითადი მახასიათებლები;
- დაისახოს ქალაქ ბათუმის მწვანე ფუნქციური რეკრეაციული ზონების ბუნებათსარგებლობის ეკოლოგიური პრობლემების გადაჭრის და რაციონალური გამოყენების გზები.

2. კვლევის მეთოდოლოგია.

კვლევა ეფუძნება როგორც ტრადიციულ, ისე თანამედროვე მეთოდებს. გამოყენებული იქნა საველე კვლევის, სტატისტიკური, შედარების, სივრცე-დროის ანალიზის, სოციოლოგიური კვლევის, გეოინფორმაციული და სხვა მეთოდები.

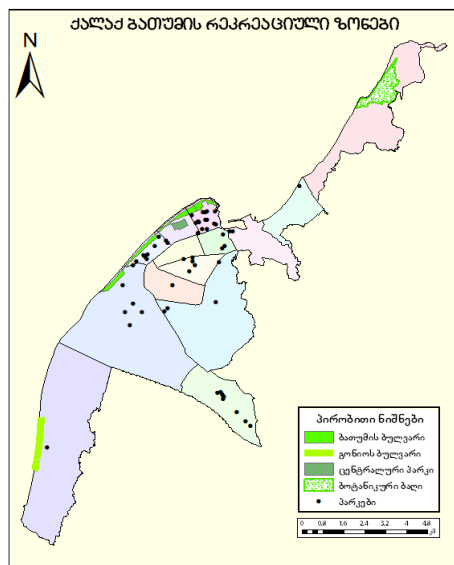
კვლევის მონაცემთა ბაზა ეფუძნება აჭარის ტურიზმისა და კურორტების დეპარტამენტის, ქალაქ ბათუმის მერიის და მწვანე ფუნქციური ზონების ადმინისტრაციების მასალებს, აგრეთვე, ტურიზმის და ეკოლოგიასთან დაკავშირებულ თეორიულ მასალებს.

კვლევის ობიექტს წარმოადგენს ქალაქი ბათუმი და მისი მწვანე ფუნქციური რეკრეაციული ზონები, რომელთა საერთო რაოდენობა 62 ერთეულია, ხოლო ფართობი 1 507 022 კვ. მ-ია, ანუ საერთო ფართობის 2,3%.

3. განხილვა.

საქართველოში, ქალაქი ბათუმი ერთ-ერთი დინამიურად მზარდი ქალაქია, რომელიც როგორც მოსახლეობის რიცხოვნობით, ისე ტერიტორიების გაფართოებით თვალსაზრისითაც საკმაოდ ჩქარი ტემპით იზრდება. შესაბამისად, ქალაქში ნორმალური ცხოვრებისთვის და ჯანსაღი ეკოლოგიური მდგომარეობისთვის საჭიროა მწვანე ფუნქციური რეკრეაციული ზონების არსებობა. გამომდინარე, აქედან ბათუმის ყველა ადმინისტრაციულ ერთეულში წარმოდგენილია მცირე, საშუალო და დიდი ზომის მწვანე რეკრეაციული ზონები (იხ. ნახ.1).

საველე-კვლევის და ემპირული კვლევის მეთოდის გამოყენების საშუალებით შეგროვილი მასალებით ირკვევა, რომ ქალაქ ბათუმში მწვანე ფუნქციური რეკრეაციული ზონები არსებობს მუნიციპალიტეტის აბსოლუტურად ყველა ადმინისტრაციულ ერთეულში რომელთა რაოდენობა 62 ერთეულია, ხოლო საერთო ფართობი 1 507 022 კვ. მ-ია (150,7 ჰა), ანუ ქალაქის მთელი ტერიტორიის 2,3% (იხ. ნახ 1).



ნახ. 1. ქალაქ ბათუმის მწვანე ფუნქციური ზონების ტერიტორიული ორგანიზაცია

იმისათვის, რომ გარკვეული იქნეს ქალაქ ბათუმში მწვანე ზონების დანიშნულება ქალაქის მეურნეობის საერთო სისტემაში, უნდა დადგინდეს ქალაქის ცალკეული ფუნქციის რაოდენობრივი მაჩვენებლები და ამით განისაზღვროს არის თუ არა იგი ქალაქის ერთ-ერთი მთავარი ფუნქცია. ყველაზე იოლი მეთოდი ფუნქციური სტრუქტურის დადგენისთვის არის პროდუქციის ღირებულების სტრუქტურის მიხედვით [რონდელი, 1990; ჯაოშვილი, 1983]. ამ მეთოდით ქალაქის ფუნქციად ჩაითვლება ის ფუნქცია, რომლის პროდუქციის ღირებულება აღემატება ქვეყნის მასშტაბით ანალოგიური ფუნქციის საშუალო ხვედრით წილს. ეს საკითხი რამდენიმე წლის წინ დეტალურად შესწავლილი იქნა პროფ. მ. ფუტყარაძის მიერ [M.Putkaradze, 2016]. ქალაქ ბათუმში 2013 წელს ტურიზმის ხვედრითი წილი მთლიან შიდა

პროდუქციაში იყო 6,5%, როცა ქვეყნის მასშტაბით 4,4%. გამომდინარე აქედან, ტურიზმი ჩაითვლება ქალაქ ბათუმის ერთ-ერთ ძირითად ფუნქციად. ამჟამად ეს მაჩვენებლები ტურიზმის სასარგებლოდ გაზრდილია, რადგან 2013 წელს ბათუმში ტურისტების რაოდენობა იყო 295 850, ხოლო 2024 წელს - 514250. იმასთან დაკავშირებით, რომ ტურისტები სარგებლობენ ქალაქის რეკრეაციულ ზონებს (ბულვარებს, ბოტანიკურ ბაღს, სკვერებს და სხვ.), შესაბამისად, მწვანე ზონების რეკრეაციული დანიშნულება ქალაქში საკმაოდ მაღალია და მისი ადგილი ქალაქის რეკრეაციული ფუნქციის შესრულებაში განსაკუთრებულია.

კვლევა ცხადყოფს, რომ საკვლევ ქალაქში ამ კუთხით კარგი პირობებია და მწვანე რეკრეაციული ზონები გვხდება ქალაქის ყველა ადმინისტრაციულ ერთეულში (ნახ.1). სპეციალისტები მიიჩნევენ, რომ რეკრეაციული ბუნებათსარგებლობა მოიცავს სანიტარიულ-საკურორტო მკურნალობას, გამაჯანსაღებელ დასვენებას ბუნებაში, აგარაკზე და მწვანე ზონებში. დასვენების ამ სახემ განსაკუთრებული პოპულარობა და აქტუალობა მოიპოვა ჩვენს ეპოქაში, როცა ურბანიზაციის მაღალი ტემპის შედეგად მკვეთრად იმატა ცხოვრების რიტმმა და დამაბულობამ [პავლიაშვილი, 2008; სეფერთელაძე და სხვ. 2011; უკლება, 2009].

საკვლევ ტერიტორიაზე რეკრეაციული მეურნეობის განვითარებასთან დაკავშირებული ეკოლოგიური პრობლემები ფაქტობრივად მწვავედ გამოკვეთილი არ არის, მაგრამ მიუხედავად ამისა რეკრეაციული საქმიანობის ფუნქციონირება გარკვეულ ეკოლოგიურ ცვლილებებს იწვევს. ამ მიმართებით აჭარის რეგიონში ჩატარებული კვლევებითაც [Putkaradze & Khorava, 2016; Putkaradze et al., 2021] დასტურდება, მაგრამ აღნიშნული პრობლემა მწვავე ხასიათს არ ატარებს.

ცნობილია, რომ ქალაქ ბათუმის მწვანე ფუნქციურ რეკრეაციულ ზონებში ეკოლოგიური მდგომარეობაზე მეტ-ნაკლებ გავლენას ახდენენ ტურისტები და ადგილობრივი მოსახლეობა. იმისათვის, რომ გავარკვიოთ რეკრეაციულ ზონებში რეკრეანტთა დატვირთვის შედეგად რა ეკოლოგიური ცვლილებები აღინიშნება, საჭიროა გავარკვიოთ ტურისტთა გამტარობის პოტენციალი, რომელიც იყოფა სამ ძირითად სახეობად: 1. ეკოლოგიური გამტარობის პოტენციალი; 2. ტურიზმის სოციალური გამტარობის პოტენციალი; 3. ადგილობრივი სოციალური გამტარობის პოტენციალი [ბირჟაკოვი, 2012].

ეკოლოგიური გამტარობის პოტენციალის გასარკვევად კომპლექსურად შესწავლილი იქნა ბათუმის ბულვარი და ცენტრალური პარკი. საკითხის შეფასებისთვის უწინარესად საჭიროა გარკვეული იქნეს რეკრეანტთა სიმჭიდროვე და განლაგების კომფორტულობის ხარისხი. მართალია, რეკრეანტთა განლაგების (სიმჭიდროვე) კომფორტულობის სტანდარტი მსოფლიოს მასშტაბით უნიფიცირებული მაჩვენებელი არ არსებობს, მაგრამ ჩვენი შეხედულებით არსებული ბუნებრივი პირობების გათვალისწინებით ერთ ადამიანზე საშუალოდ 5 კვ. მ მისაღები იქნება (ემპირული დაკვირვებით და დამსვენებელთა გამოკითხვით ეს ფართობი მისაღებია). გამომდინარე აქედან, ბათუმის ბულვარს ერთდროულად შეუძლია მიიღოს (ფართობი 103,1 ჰა, მაგრამ დაახლოებით 60%, ანუ 78,06 ჰა მოდის უშუალოდ იმ სივრცეზე, სადაც ტურისტები დადიან და ისვენებენ) 156 120 დამსვენებელი. აღნიშნული მაჩვენებლები ცენტრალურ პარკში (საერთო ფართობი 59768 კვ. მ, აქედან მხოლოდ 1/3 ნაწილი მოდის იმ ტერიტორიაზე, სადაც რეკრეანტები გადაადგილდებიან, ანუ 19922 კვ. მ.) - არის 2390. ქალაქ ბათუმში 2024 წელს ტურისტების რაოდენობა იყო 514250 (ყველა ტურისტი სარგებლობს ბულვარს). თუ ამ მაჩვენებელს დავამატებთ ადგილობრივ მოსახლეობას, რომლებიც სარგებლობენ ბულვარს საშუალო მაჩვენებელი დაახლოებით იქნება (ბათუმის მოსახლეობა 2024 წელს იყო 183 200, ბულვარით სარგებლობს საშუალოდ 10 კაციდან - 1) 18 300 კაცი, ანუ

ტურისტებთან ერთად - 532 550. აქვე უნდა ითქვას, რომ ბათუმის ტურისტების დიდი ნაწილი 70% ივნის-სექტემბრის თვეებზე მოდის, ანუ საშუალოდ ოთხი თვის განმავლობაში 359 975 ტურისტი. თუ გავითვალისწინებთ იმ გარემოებას, რომ ტურისტების 90% ყოველდღიურად გადის ბულვარში, მაშინ მათი რაოდენობა იქნება 323 980, მაგრამ საშუალოდ ოთხი თვის განმავლობაში ყოველდღიურად (323 980 : 120) 2700 ტურისტი. თუ აღნიშნულ მაჩვენებელს დავუმატებთ ადგილობრივ მოსახლეობას (2700 +18 300), მაშინ მათი საერთო რაოდენობა იქნება - 21 000. თუ ბათუმის ბულვარის რეკრეანტთა ერთდროული მიღების პოტენციალი არის 156 120, გამოდის, რომ ზაფხულში პიკის პერიოდში ბულვარის საშუალო დატვირთვა მხოლოდ 13,5%-ია. რაც შეეხება ცენტრალურ პარკს მისი რეკრეაციული ფუნქცია მთელი წლის განმავლობაში ხორციელდება, მაგრამ აქ ბევრად უფრო ნაკლები რეკრეანტია, ვიდრე ბულვარში. მართალია, ცენტრალურ პარკში რეკრეანტთა ოფიციალური რაოდენობის შესახებ მონაცემები არ არსებობს, მაგრამ ემპირული დაკვირვების შედეგად მისი საშუალო მაჩვენებელის პიკი ივნის-სექტემბრის პერიოდზე მოდის და მათი რაოდენობა საშუალოდ ყოველდღიურად დაახლოებით იქნება (ყოველი 7 ტურისტიდან - 1, ანუ (323 980:120) : 7 = 385. თუ ამ მაჩვენებელს დავუმატებთ ადგილობრივ მოსახლეობას საშუალოდ 100 კაციდან -1 კაცი (183 200:100 = 1832), მაშინ რეკრეანტთა საშუალო მაჩვენებელი ყოველდღიურად (385+1832) იქნება - 2217, ანუ პიკის პერიოდში დატვირთვა საერთო პოტენციალიდან (19922:5=3984) იქნება (2217:3983) 55,7%, ანუ ბევრად უფრო მაღალი ვიდრე ბულვარში (13,5%). ბათუმის ბულვარში და ცენტრალურ პარკში ტურისტთა ეკოლოგიური გამტარობის პოტენციალი დარღვეული არ არის. შესაბამისად, ამ კუთხით ბუნებათსარგებლობის ეკოლოგიურ პრობლემებს ადგილი არ აქვს, თუ არ გავითვალისწინებთ ბალახეული საფარის უმნიშვნელო გათელვას, ხმაურს, ნაგვის გადაყრას, ელექტრომაგნიტური ფონის მომატებას და სხვა.

თუ ბათუმის ბულვარში ტურისტთა ეკოლოგიური გამტარობის პოტენციალს განვიხილავთ ტურიზმის სოციალური გამტარობის პოტენციალის სახეობის მიხედვით, რომელიც გულისხმობს - ვიზიტის დონეს, რომლის გადაჭარბებასაც მიეყვარათ მოგზაურობის, შთაბეჭდილების გაუარესებამდე [ბირჟაკოვი, 2012]. ამ მიმართებით ფაქტობრივად პრობლემა არ არის, რადგან ბულვარის საერთო პოტენციალიდან პიკის პერიოდში დატვირთვა არის მხოლოდ 13,5%, ხოლო ცენტრალურ პარკში 55,7%. საკითხის გარკვევისთვის გამოვიყენეთ თვისობრივი კვლევის სიღრმისეული ინტერვიუების მეთოდი [Lu & Nepal, 2009]. ამ მიმართებით ჩვენს მიერ დამსვენებლებთან ჩატარებული იქნა სოციოლოგიური გამოკითხვა. კითხვაზე, არის თუ არა ბულვარში კომფორტული დასვენების პირობები? 104 გამოკითხულიდან, კი დაასახელა 98-მა, ანუ 94,2%-მა; კითხვაზე, როგორ შეაფასებდით ბულვარის ეკოლოგიურ მდგომარეობას? 104 გამოკითხულიდან 62-მა, ანუ 59,6% დაასახელა - „საუკეთესო“; 34-მა, ანუ 36,7%-მა „კარგი“; 8-მა ანუ, 3,7% - „დამაკმაყოფილებელი“. რაც შეეხება ანალოგიურ კვლევას ცენტრალურ პარკში კითხვაზე, არის თუ არა ბულვარში კომფორტული დასვენების პირობები? 62 გამოკითხულიდან, კი დაასახელა 57-მა, ანუ 91,9%-მა; კითხვაზე, როგორ შეაფასებდით პარკის ეკოლოგიურ მდგომარეობას? 62 გამოკითხულიდან 39-მა, ანუ % 62,9% დაასახელა - „საუკეთესო“; 21-მა, ანუ 33,8%-მა „კარგი“; 2-მა ანუ, 3,3% - „დამაკმაყოფილებელი“. ცხადი ხდება, რომ ბულვარში და ცენტრალურ პარკში ეკოლოგიური მდგომარეობა საუკეთესოა და დასვენებისთვის კომფორტული პირობებია.

ადგილობრივი სოციალური გამტარობის პოტენციალის გარკვევისთვის რეკრეანტებს ბათუმის ბულვარში დაესვა შემდეგი კითხვები: ბულვარში სეირნობისას ხელს გიშლით თუ არა ტურისტთა სიმრავლე? 68 გამოკითხულიდან 59 -მა, ანუ 86,7 %-მა დაასახელა - არა.

კითხვაზე, ახდენენ თუ არა ტურისტები ბულვარის ეკოლოგიურ მდგომარეობაზე უარყოფით გავლენას? 68 გამოკითხულიდან 56-მა, ანუ 82,3 %-მა დაასახელა - არა. რაც შეეხება სოციოლოგიური გამოკითხვებს ცენტრალურ პარკში შედეგები ასეთია: ახალგაზრდობის პარკში სეირნობისას ხელს გიშლით თუ არა ტურისტთა სიმრავლე? 43 გამოკითხულიდან 36 - მა, ანუ 83,7 %-მა დაასახელა - არა. კითხვაზე, ახდენენ თუ არა ტურისტები ბულვარის ეკოლოგიურ მდგომარეობაზე უარყოფით გავლენას? 43 გამოკითხულიდან 33-მა, ანუ 76,7 %-მა დაასახელა - არა. კვლევით ცხადი ხდება, რომ ამ მიმართებითაც აღნიშნულ რეკრეაციულ ზონებში დასვენებისთვის საუკეთესო პირობებია.

ეკოლოგიური გამტარობის პოტენციალის სამივე სახეობის განხილვით დადგინდა, რომ ბათუმის ბულვარში და ცენტრალურ პარკში ეკოლოგიური მდგომარეობა გაუარესებული არ არის. შესაბამისად, ბულვარის ცალკეულ ზონში (ძველი ბულვარი, ახალი ბულვარი) და ცენტრალურ პარკში ტურისტთა ეკოლოგიური გამტარობის პოტენციალის მეთოდოლოგიის [ბირჟაკოვი, 2012] გამოყენებით რაოდენობრივი მაჩვენებლებიდან გამომდინარე (საერთო პოტენციალიდან პიკის პერიოდში ბულვარში დატვირთვა არის მხოლოდ 13,5%, ხოლო ცენტრალურ პარკში 55,7 %) ეკოლოგიური მდგომარეობა პირობითად შეიძლება შეფასდეს: „საუკეთესო“, „კარგი“ და „დამაკმაყოფილებელი“ (იხ. ცხრილი 1).

ცნობილია, რომ ბათუმის ბულვარი და ცენტრალური პარკი მთელი წლის განმავლობაში დატვირთულია, როგორც ადგილობრივი მოსახლეობით, ისე ტურისტებით. იმისათვის, რომ დავადგინოთ აღნიშნული რეკრეაციული ობიექტების ეკოლოგიური მდგომარეობა, უნდა გავარკვეოთ ტურისტთა გამტარობის ერთ-ერთი ფორმა „ზღვრული დატვირთვა“, რომელიც გულისხმობს სიმჭიდროვის იმ დონეს, რომლის გადაჭარბებაც იწვევს ბუნებრივი და კულტურული ლანდშაფტის კომპონენტთა შეუქცევად დარღვევას [მეტრეველი, 2008]. ამ კუთხით ჩატარებული კვლევის თვისობრივი მახასიათებლები მოცემულია ცხრ.1-ში.

ცხრილი 1

ბათუმის ბულვარის და ცენტრალური პარკის ეკოლოგიური მდგომარეობა (2025 წელი)

რეკრეაციული ზონები		ტურისტთა გამტარობის პოტენციალის ეკოლოგიური მდგომარეობა		ტურისტული ინფრასტრუქტურის ობიექტთა გავლენა ეკოლოგიურ მდგომარეობაზე
		ეკოლოგიური გამტარობის პოტენციალი	ზღვრული დატვირთვა	
ბათუმის ძველი ბულვარი	ჩრდილოეთი ზონა	დამაკმაყოფილებელი	უმნიშვნელოდ გაუარესებული	საუკეთესი
	ცენტრალური ზონა	დამაკმაყოფილებელი	უმნიშვნელოდ გაუარესებული	საუკეთესი
	სამხრეთი ზონა	კარგი	კარგი	კარგი
ბათუმის ახალი ბულვარი	ჩრდილოეთი ზონა	კარგი	კარგი	საკმაოდ გაუარესებული
	ცენტრალური ზონა	კარგი	უმნიშვნელოდ გაუარესებული	საკმაოდ გაუარესებული
	სამხრეთი ზონა	საუკეთესი	საუკეთესო	საკმაოდ გაუარესებული
ცენტრალური პარკი		კარგი	კარგი	საუკეთესო

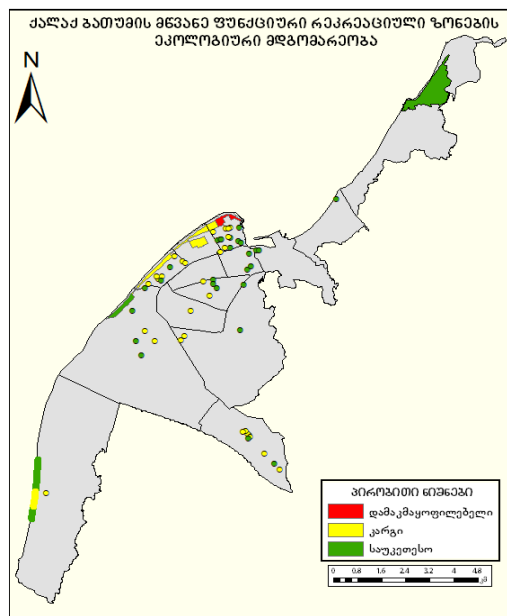
წყარო: ცხრილი შედგენილია ბათუმის მერიის სტატისტიკური მასალების, სავსე კვლევის და ემპირული მონაცემების საფუძველზე

რეკრეაციული ზონის ეკოლოგიურ მდგომარეობას გარკვეულწილად აუარესებს ტერიტორიის ტურისტული ინფრასტრუქტურის ობიექტებით დატვირთვა. ამ კუთხით რეკრეაციული ზონების ცალკეულ ობიექტებში მეტ-ნაკლებად აღინიშნება ეკოლოგიური მდგომარეობის ცვლილება, გარკვეულ შემთხვევაშიც ეკოლოგიური მდგომარეობა საკმაოდ დარღვეულია (იხ. ცხრ.1).

4. შედეგები.

ჩატარებული საველე-კვლევითი, სიღრმისეული ინტერვიუების და ემპირული კვლევის მეთოდების გამოყენებით ბათუმის ბულვარის და ცენტრალური პარკის ბუნებათსარგებლობის ეკოლოგიური მდგომარეობა წარმოდგენილია ცხრილ 1-ზე.

კვლევას, რომ ჰქონდეს კომპლექსური და შემეცნებითი ხასიათი ამისათვის საჭიროა ქალაქ ბათუმის მწვანე ფუნქციური ზონების ბუნებათსარგებლობის ეკოლოგიური მდგომარეობის სივრცობრივი თავისებურებების ასახვა გეოინფორმაციული -GIS მეთოდის საშუალებით (იხ. ნახ 2).



ნახ. 2. ქალაქ ბათუმის მწვანე ფუნქციური ზონების ეკოლოგიური მდგომარეობა

კვლევა ცხადყოფს, რომ ქალაქ ბათუმის მწვანე ფუნქციური რეკრეაციული ზონებში რეკრეაციული საქმიანობის შედეგად მეტ-ნაკლებად აღინიშნება ეკოლოგიური მდგომარეობის გაუარესების ცალკეული ფაქტები (იხ. ნახ. 2), მაგრამ მიუხედავად ამისა არ იქმნება დასვენებისთვის ხელშემშლელი პირობები. არსებული მდგომარეობის გაუმჯობესების შემთხვევაში ბევრად უფრო ამაღლდება ბათუმის რეკრეაციული დანიშნულების როლი საერთაშორისო მასშტაბით. ამიტომ, უწინარესად საჭიროა არსებული პრობლემების აღმოფხვრის მიმართულებით პრევენციული ღონისძიებების გატარება და გადაჭრის კუთხით რეკომენდაციების დასახვა.

ქალაქის ტერიტორიაზე მწვანე რეკრეაციული პარკებში ეკოლოგიური მდგომარეობის კიდევ უფრო გაუმჯობესების მიზნით უწინარესად, ერთის მხრივ, უნდა მოხდეს დასვენებისთვის საჭირო ინფრასტრუქტურის გაუმჯობესება, რათა მაქსიმალურად დააკმაყოფილონ ადგილობრივი მოსახლეობის რეკრეაციული მოთხოვნებები, ხოლო მეორეს მხრივ, მიიზიდონ ტურისტებიც. მნიშვნელოვანია პარკებში მწვანე საფარის კიდევ უფრო გაფართოება

და დეკორატიული ადგილების შექმნა. პარკებთან მიმართებით ასევე მოსაწესრიგებელია მიმდებარედ სატრანსპორტო კომუნიკაციების გადაადგილების მასშტაბების შემცირება, რათა მაქსიმალურად შეიზღუდოს ხმაური და ატმოსფეროს დაბინძურება.

ქალაქ ბათუმის მწვანე ფუნქციური რეკრეაციული ზონების ბუნებათსარგებლობის ეკოლოგიური მდგომარეობის შესწავლას, არსებული პრობლემების იდენტიფიცირებას და გადაჭრის მიმართულებით დასახული რეკომენდაციების დასახვას ექნება, როგორც შემეცნებითი, ისე გამოყენებითი მნიშვნელობა. მისი გათვალისწინება ხელს შეუწყობს რეგიონში ტურიზმის კიდევ უფრო განვითარებას და ქალაქის შიდა ტერიტორიული სისტემების ჰარმონიული ფუნქციონირების.

5. დასკვნა.

ქალაქ ბათუმში მწვანე ფუნქციური რეკრეაციული ზონების როლი და ადგილი ქალაქის ფუნქციურ სტრუქტურაში საკმაოდ მაღალია, რომელიც ემსახურება, როგორც ტურისტების, ისე ადგილობრივი მოსახლეობის რეკრეაციული მოთხოვნების დაკმაყოფილებას. მწვანე ფუნქციური რეკრეაციული ზონების ეკოლოგიური მდგომარეობა უპირატეს ნაწილში “საუკეთესო” და “კარგია”, რაც ტურიზმის შემდგომი განვითარებისთვის კარგი პერსპექტივაა. რეკრეაციულ ზონებში ბუნებათსარგებლობის ეკოლოგიურ მდგომარეობასთან დაკავშირებული პრობლემების გადაჭრა უნდა განხორციელდეს რაციონალური ბუნებათსარგებლობის ძირითადი პრინციპების გათვალისწინებით და ტურისტული ინფრასტრუქტურის შექმნა უნდა წარმართოს ესთეტიკური გარემოს შენარჩუნების მიმართულებით. შესაბამისად, ტურიზმის განვითარება უნდა ეფუძნებოდეს მდგრადი განვითარების ძირითად პრინციპებს, ხოლო მისი რეალიზაცია უნდა მოხდეს ქვეყნის ტურიზმის პოლიტიკის ეფექტური მარკეტინგის და მენეჯმენტის განხორციელების შედეგად.

გამოყენებული ლიტერატურა:

1. ბირჟაკოვი მ. ტურიზმის თეორია, თბილისი, 2012.
2. მეტრეველი მ. ტურიზმი და გარემოს დაცვა. თბილისი. 2008.
3. პავლიაშვილი ნ. ტურიზმის განვითარების ძირითადი ფაქტორები”. თბილისი, 2008.
4. რონდელი ალ, ქალაქის გეოგრაფია. თბილისი. 2009
5. სეფერთელაძე ზ., დავითაია ე., მარგველიანი გ. ბუნებათსარგებლობის გეოგრაფია. თბილისი, 2011.
6. უკლება ნ. ტურისტულ-რეკრეაციული რესურსები, თბილისი. 2008.
7. ჯაოშვილი ვ. მოსახლეობის გეოგრაფია. თბილისი, 1983.
8. Lu, J., & Nepal, K. Sustainable Tourism Research: An Analysis of the Papers Published in the Journal of Sustainable Tourism. Journal of Sustainable Tourism. 2009. Vol. 17(1), pp. 5-16.
9. Putkaradze, M. & Khorava, S. Tourism Industry's Influence on Recreational Zone's Ecological Condition in the Seaside of Adjara”, Journal of Tourism and Hospitality Management. 2018, Vol. 6, No. 1, pp. 25-32.
10. Putkaradze M., Chichileishvili K., Kamadadze C., Ananidze M., Putkaradze L. Ecologic problems of recreational zone of Batumi sea coast. International Multidisciplinary Scientific GeoConference: SGEM; Sofia, 2021.
11. Путкарадзе М., Функции, проблемы и перспективы города Батуми. Актуальные процессы формирования науки в новых условиях. Сборник статей международной научно-практической конференции 10 марта 2016 г. Москва, 2016.

Territorial organization and Ecological condition of functional green recreational zones of Batumi city

Merab Putkaradze, Monika Lipartia

Batumi Shota Rustaveli State University

merab.putkaradze@bsu.edu.ge, monikalipartia12@gmail.com

Abstract

The traditional and modern research methods were used to study the organization of Batumi city's green functional zones, their recreational significance, and their potential. The research assesses the carrying capacity of these zones for both local residents and tourists. Several ecological issues related to recreational activities in certain green functional zones have been identified. The study also proposes strategies for the sustainable use of these recreational areas and addresses the need to optimize the harmonious functioning of urban territorial systems.

Keywords: Recreation, Tourism, Relax, Ecology

უმუშევრობის ეკონომიკური შედეგები

მანანა დიდმანიძე¹, ზურაბ ზაქარაძე², ანზორ სოლომონიძე³

¹ბათუმის შოთა რუსთაველის სახელმწიფო უნივერსიტეტი

²ბათუმის N 6 ფიზიკა მათემატიკის სკოლა

³ევროპული საგანმანათლებლო ცენტრი

mdidmanidze92@mail.ru, kancelaria6@gmail.com, anzorsolomonidze@gmail.com

რეზიუმე

უმუშევრობა კვლავ რჩება ქვეყნის ერთ-ერთ მთავარ გამოწვევად. უმუშევრობის მაღალი დონე მკვეთრად ამცირებს, როგორც მოსახლეობის, ასევე სახელმწიფო ბიუჯეტის შემოსავლებს. უმუშევრობის ყველაზე დიდი ნეგატიური შედეგი გამოშვებული პროდუქციის და გაჩეული მომსახურების რაოდენობის კლებაა.

უმუშევრობა დიდ პრობლემას წარმოადგენს საზოგადოების ყველა ნაწილისთვის, ამიტომ აუცილებელია სახელმწიფომ მის ბუნებრივ დონემდე შემცირებისთვის გაატაროს რიგი ღონისძიებები. უმუშევრობასთან ბრძოლას ართულებს ისიც, რომ ხშირად მისი გამოწვევი არის არა ერთი, არამედ რამდენიმე ფაქტორი.

საკვანძო სიტყვები: უმუშევრობა, მასობრივი უმუშევრობა, უმუშევრობის დონე, შრომის ბაზარი.

1. შესავალი.

უმუშევრობა - ეს არის სოციალურ-ეკონომიკური ფენომენი, რომელიც მდგომარეობს იმაში, რომ შრომისუნარიანი მოსახლეობის გარკვეული ნაწილი სამსახურს ვერ პოულობს. შრომის საერთაშორისო ორგანიზაციის (ILO) განმარტებით, უმუშევარი არის ადამიანი, რომელსაც სურს მუშაობა, შეუძლია მუშაობა, მაგრამ არ აქვს სამუშაო.

უმუშევრობა მსოფლიოში ერთ-ერთ ყველაზე მნიშვნელოვან პრობლემას წარმოადგენს. ლიტერატურაში განსაკუთრებული ყურადღება ეთმობა უმუშევრობის ეკონომიკური შედეგების ანალიზს. უმუშევრობა აფერხებს ქვეყნის სოციალურ - ეკონომიკურ განვითარებას და ხელს უშლის მოსახლეობის ცხოვრების დონის ამაღლებას. უმუშევრობის ნეგატიურ შედეგებს შორის აღსანიშნავია - შემოსავლების დანაკარგები, სიღარიბე, მატერიალური დოვლათის დანაკარგები, გარე მიგრაცია, დემოგრაფიული მდგომარეობის გამწვავება, მუშაკთა დეკვალიფიკაცია, ინფლაციის ზრდა.

უმუშევრობა შემოსავალს აკარგვინებს, როგორც ცალკეულ ინდივიდებს, ასევე სახელმწიფოს ბიუჯეტსაც, რადგან შემოსავლის გარკვეული ნაწილი იბეგრება, უმუშევრობის დონის ზრდამ სახელმწიფოს შეიძლება დიდი თანხები დააკარგვინოს.

ხანგრძლივმა მასობრივმა უმუშევრობამ შეიძლება მიგვიყვანოს ზოგადად ქვეყნის გაღარიბებამდე. რადგან უმუშევრობის მაღალი დონე ეხება არა მარტო ცალკეულ ინდივიდებს, არამედ ქვეყნის ყველა მოქალაქეს, რადგან იგი იწვევს ქვეყნის ეკონომიკის საერთო მაჩვენებლების გაუარესებას.

უმუშევრობა იწვევს მთლიანი შიდა პროდუქტის შემცირებას. რაც უფრო დიდია უმუშევრობის დონე, მით მეტია მატერიალური დოვლათის დანაკარგები და მით უფრო მეტად მცირდება მთლიანი შიდა პროდუქტი.

მასობრივი მიგრაციის ერთ-ერთი თვალსაჩინო გამოწვევი მიზეზია უმუშევრობა.

უმუშევრობასა და ქვეყნის დემოგრაფიულ განვითარებას შორის არსებობს მკაფიო დამოკიდებულება. უმუშევრობა იწვევს სიღარიბეს, ხოლო იგი თავის მხრივ, იწვევს დემოგრაფიული ვითარების გაუარესებას. მაგალითად, სიღარიბე ობიექტური მიზეზების გამო აფერხებს ახალგაზრდების დაქორწინებას, იზრდება მიგრანტთა რაოდენობა, რაც ამცირებს ქორწინებათა რიცხვს.

უმუშევრობის ერთ-ერთი ყველაზე მნიშვნელოვანი სოციალურ-ეკონომიკური შედეგია ის, რომ იგი იწვევს მუშაკთა დეკვალიფიკაციას. უმუშევრობის პერიოდში ადამიანს არა მარტო არ ემატება ახალი ცოდნა, არამედ ისიც ავიწყდება რაც იცოდა, ამიტომ თუ სახელმწიფომ არ იზრუნა მის გადამზადებაზე, იგი ვეღარ შეასრულებს თავის საქმეს.

ასევე, ხანგრძლივი უმუშევრობა ხშირად იწვევს საზოგადოებაში კრიმინოგენული ვითარების გამწვავებას. როგორც კვლევებით დასტურდება, დამნაშავეთა დიდი ნაწილი, სწორედ უმუშევრებია.

მიუხედავად იმისა, რომ უმუშევრობას ბევრი უარყოფითი სოციალურ- ეკონომიკური შედეგები აქვს, მას ასევე გააჩნია გარკვეული დადებითი მხარეებიც - უმუშევრობა ხელს უწყობს სამუშაო ძალის ე.წ. „რეზერვის“ შექმნას, რაც გარკვეული მანევრირების შესაძლებლობას იძლევა ახალი ტიპის სამუშაო ადგილების გაჩენის შემთხვევაში.

აღსანიშნავია, რომ „უმუშევრობას დადებითი ფუნქციების შესრულება შეუძლია მხოლოდ მაშინ, როდესაც მისი ფაქტიური დონე საზოგადოებრივად დასაშვებ „ბუნებრივ დონეს“ უახლოვდება. წინააღმდეგ შემთხვევაში, მასობრივი უმუშევრობა, განსაკუთრებით თუ იგი დიდი ხნის მანძილზე გრძელდება, დამანგრეველად მოქმედებს ეკონომიკის ფუნქციონირებაზე“ [1].

განათლება საუკეთესო ინვესტიციად მოიაზრება კვალიფიციური და კარგად ანაზღაურებადი შრომის ბაზრის ფორმირებისათვის. გზა, რომლითაც ადამიანების ეკონომიკურ განათლებას უზრუნველყოფს არის მათი ცოდნის გაფართოება და უნარების განვითარება, ეკონომიკაში პროდუქტიული მონაწილეობისათვის. მჭიდრო და პოზიტიური კავშირი არსებობს განათლებასა და ეკონომიკას შორის. არა ერთი კვლევა ადასტურებს განათლებასა ეკონომიკურ ზრდას შორის კავშირის არსებობას, როგორც მაკრო, ასევე მიკროეკონომიკურ დონეზე.

განათლებულ სამუშაო ძალას აქვს უფრო მეტი შესაძლებლობა, აწარმოოს უკეთესი პროდუქცია მრავალი განსხვავებული მიმართულებით. განათლების საფუძველზე უმჯობესდება დასაქმებულთა შრომის ხარისხი და, შესაბამისად, იზრდება წარმოების ეფექტიანობა, ხდება ტექნოლოგიური განვითარება.

თანამედროვე ეტაპზე შრომის ბაზრისათვის დამახასიათებელია გარკვეული თავისებურებები: დასაქმების შეზღუდული შესაძლებლობები; მოთხოვნასა და მიწოდებას შორის არსებული დისბალანსი; მოქმედების შეზღუდული არეალი; სამუშაო ძალის დაბალი მობილურობა; ხანგრძლივ უმუშევართა მაღალი წილი; უმუშევრებში ახალგაზრდების მაღალი წილი.

დასაქმება სიღარიბის დაძლევისა და მოსახლეობის სოციალური თანასწორობის ამღლეების ერთ-ერთი მთავარი ფაქტორია, რამაც დიდი წვლილი უნდა შეიტანოს ქვეყნის სოციალურ-ეკონომიკური განვითარების მიზნის მიღწევაში.

სამუშაო ადგილის დაკარგვა ერთ-ერთი ყველაზე უსიამოვნო მოვლენაა ნებისმიერი ადამიანის ცხოვრებაში. ადამიანთა უმრავლესობა ცხოვრების დონის შენარჩუნებასთან დაკავშირებულ იმედებს საკუთარ შრომით შემოსავლებზე ამყარებს. ადამიანები შრომისგან

არა მხოლოდ შემოსავალს, არამედ პიროვნული სრულყოფილების გრძნობასაც იღებენ. სამუშაოს დაკარგვა ნიშნავს, საკუთარი თავისადმი პატივისცემის დაკარგვას და ცხოვრების დონის შემცირებას.

რეალურ ეკონომიკაში უმუშევრობის გარკვეული დონის არსებობა გარდაუვალია. უმუშევრობის ბუნებრივ დონეს განსაზღვრავს ოფიციალურად რეგისტრირებულ უმუშევართა ხვედრითი წონა შრომისუნარიანი ასაკის მქონე მოსახლეობის საერთო რიცხოვნობაში, მაგრამ ეს მაჩვენებელი არ გვაძლევს სრულ წარმოდგენას ამ სფეროში შექმნილ ვითარებაზე. არსებული მდგომარეობის სწორად შეფასებისათვის აუცილებელია ვიცოდეთ არა მხოლოდ უმუშევართა რაოდენობა, არამედ მათი უმუშევრობის პერიოდის ხანგრძლივობა, სამუშაოს დაკარგვის მიზეზი, სად ეძებენ სამუშაოს, ვის მიმართავენ დახმარებისთვის, რა სირთულეებს აწყდებიან სამუშაოს ძიებისას და სხვა.

ფრიქციულ უმუშევრობას იწვევს შრომის ბაზარზე ინფორმაციის გავრცელების ხარვეზებიც. ამიტომ, ამგვარ უმუშევრობას სახელმწიფომ უნდა ებრძოდოს, სწორედ ეფექტიანი საინფორმაციო სისტემების შექმნით. სრულყოფილი საინფორმაციო სისტემა უზრუნველყოფს იმას, რომ უმუშევარი რაც შეიძლება მალე მონახავს მისთვის სასურველ ვაკანსიას და დაიწყებს მუშაობას.

უმუშევრობასთან ბრძოლის ერთ-ერთი ყველაზე გავრცელებული და ეფექტიანი გზაა სახელმწიფოს მხრიდან ტრენინგების კურსის მომზადება და განხორციელება. აღნიშნული ხელს შეუწყობს უმუშევართა კვალიფიკაციის ამაღლებას და მაღალ კონკურენტუნარიანობას. ამ გზით მიიღწევა სამუშაო ძალის პროფესიული მომზადების დონის შესაბამისობა სამუშაო ადგილის მოთხოვნებთან.

ქვეყნის მთლიანი შიდა პროდუქტის გაზრდისა და, შესაბამისად, ციკლური უმუშევრობის შემცირების ერთ-ერთი ყველაზე მნიშვნელოვანი და კარგი გზა არის მცირე ბიზნესის განვითარება. მცირე ბიზნესის უპირატესობა იმაში მდგომარეობს, რომ მისი დაფუძნება შეიძლება უმოკლეს დროში, ძალიან მცირე დანახარჯებით, გამოირჩევა მეტი თავისუფლებით, დამოუკიდებლობითა და მოქმედების ოპერატიულობით. იგი პირად კონტაქტებს ამყარებს მომხმარებლებთან და ცდილობს, უკეთ დააკმაყოფილოს მათი მოთხოვნილებები.

უმუშევრობა არა ერთ სოციალურ-ეკონომიკურ პრობლემებს იწვევს, მათ შორის ყველაზე მწვავედ დგას: მატერიალური დოვლათის დანაკარგები, შემოსავლების დანაკარგები, მასობრივი სიღარიბე, გარე შრომითი მიგრაცია, დემოგრაფიული მდგომარეობის გამწვავება, ადამიანის ფსიქიკის შერყევა და ნერვული სისტემის მოშლა, შრომისუნარიანი მოსახლეობის დეკვალიფიკაცია და ა.შ.

უმუშევრობასთან ბრძოლა უნდა დავიწყოთ მისი გამომწვევი მიზეზების შესწავლით. აქვე აღსანიშნავია, რომ უმუშევრობას უნდა ვებრძოდეთ არა ერთი რომელიმე მეთოდით, არამედ კომპლექსურად. ყველა მიმართულებამ უნდა შეიტანოს თავისი წვლილი უმუშევრობის დონის შემცირებაში, სიღარიბის დაძლევისა და საბოლოოდ, ქვეყანაში ცხოვრების დონის ამაღლებაში.

სოციალურად დაუცველი პირებისთვის გათვალისწინებული უნდა იყოს არა მხოლოდ დასაქმება, არამედ შრომის ბაზარზე მათი შენარჩუნების ხელშეწყობის სერვისებიც. ამდენად, გასატარებელია ღონისძიებები, რომელიც ხელს შეუწყობს როგორც სამუშაოს მოძიებას, ასევე ხანგრძლივი ვადით დასაქმებას [2].

უმუშევრობის მთავარი მაჩვენებელი უმუშევრობის დონეა. უმუშევრობის მაჩვენებელი (u) არის უმუშევართა რაოდენობის თანაფარდობა მთლიან სამუშაო ძალასთან (დასაქმებულთა და უმუშევართა რაოდენობის ჯამი), გამოხატული პროცენტულად: $u = U / L * 100\%$ ან $u = U / (E +$

U) * 100%. სტრუქტურული უმუშევრობის დონე გამოითვლება როგორც სტრუქტურული უმუშევრობის რაოდენობის თანაფარდობა მთლიან სამუშაო ძალასთან, გამოხატული პროცენტულად: $u_{struct} = U_{struct} / L * 100\%$.

უმუშევრობის არაეკონომიკური შედეგები არის სამსახურის დაკარგვის ფსიქოლოგიური და სოციალური და პოლიტიკური შედეგები. ინდივიდუალურ დონეზე, უმუშევრობის არაეკონომიკური შედეგებია ის, რომ თუ ადამიანი დიდხანს ვერ პოულობს სამსახურს, ეს ხშირად იწვევს ფსიქოლოგიურ სტრესს, სასოწარკვეთას, ნერვულ (თვითმკვლელობამდე) და გულ-სისხლძარღვთა დაავადებებს, ოჯახის დანგრევას. სტაბილური შემოსავლის წყაროს დაკარგვამ შეიძლება უზიდავს ადამიანს დანაშაულისკენ (ქურდობა და თუნდაც მკვლელობა), ანტისოციალური ქცევისკენ.

2. დასკვნა.

შრომის ბაზრის მოთხოვნასა და სამუშაო ძალის მიწოდებას შორის შეუსაბამობის შემცირება არის ერთ-ერთი უმთავრესი მიზანი. ამ კუთხით სახელმწიფომ უნდა გაზარდოს განათლების ხარისხის შესაბამისობა შრომის ბაზრის მოთხოვნებთან, რაც განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია ახალგაზრდების დასაქმებისთვის.

სამუშაო ძალის კონკურენტუნარიანობის ამაღლების კონტექსტში, დიდი მნიშვნელობა უნდა მიენიჭოს პროფესიული განათლების რეფორმას, რომლის ამოცანაა შრომის ბაზრის მოკლე, საშუალო და გრძელვადიანი მოთხოვნების დაკმაყოფილება.

გამოყენებული ლიტერატურა:

1. თორია მ. შრომის ბაზარი: დასაქმება და უმუშევრობა. თბილისი, გამომცემლობა „უნივერსალი“, 2006.
2. გლობალიზაცია, საერთაშორისო ბიზნესის თანამედროვე პრობლემები და განვითარების ტენდენციები. თბილისი, გამომცემლობა „უნივერსალი“, 2012.

Economic Consequences of Unemployment

Manana Didmanidze¹, Zurab Zakaradze², Anzor Solomonidze³

¹Batumi Shota Rustaveli State University

²Batumi School of Physics and Mathematics N 6

³European Educational Center

mdidmanidze92@mail.ru, kancelaria6@gmail.com, anzorsolomonidze@gmail.com

Abstract

Unemployment remains one of the country's main challenges. High unemployment levels sharply reduce both the population's and the state budget's revenues. The biggest negative consequence of unemployment is a decrease in the number of products produced and services provided.

Unemployment is a major problem for all segments of society, so it is necessary for the state to implement a number of measures to reduce it to its natural level. The fight against unemployment is also complicated by the fact that it is often caused by not one, but several factors.

Keywords: unemployment, mass unemployment, unemployment rate, labor market.

ლანდშაფტების რეკრეაციული შეფასებისა და კვლევის ორგანიზაცია უმადლეს სასწავლებლებში

ალექსანდრე დიასამიძე

ბათუმის შოთა რუსთაველის სახელმწიფო უნივერსიტეტი

aleksandre.diasamidze@bsu.edu.ge

რეზიუმე

საბუნებისმეტყველო მეცნიერებათა სწავლების ერთ-ერთი მეთოდი საველე-პრაქტიკული მუშაობაა, სადაც სტუდენტები ეუფლებიან არა მხოლოდ თეორიული მასალის ცოდნას, მისი სწავლების მეთოდებს, არამედ საკვლევ-სადიებო მუშაობის ხერხებსა და მეთოდებსაც: როგორც წესი საველე მუშაობის მთავარ პრინციპს ბუნებაზე დაკვირვება წარმოადგენს, რომელიც გულისხმობს სწორი წარმოდგენების, ცნებების, უნარისა და ჩვევების ჩამოყალიბების მიზნით სტუდენტის მიერ ცოცხალი და არაცოცხალი ბუნების ობიექტებისა და მოვლენების აღქმას.

საკვანძო სიტყვები: ლანდშაფტები, რეკრეაცია, საველე პრაქტიკა, ბუნებაზე დაკვირვება

1. შესავალი.

საველე-პრაქტიკული მუშაობის ორგანიზებულად წარმართვისათვის აუცილებელია სასწავლო გეგმებისა და პროგრამების სრულყოფილად დამუშავება; შესაბამისად საკვლევ ტერიტორიის საველე-პრაქტიკული მუშაობის გეგმის შედგენა, რომლის შინაარსი უნდა წარმოადგენდეს არა მხოლოდ შესასწავლ ტერიტორიაზე დაკვირვებათა თანმიმდევრობას, არამედ მოცემული უნდა იყოს მათი ჩატარების ხერხები და შედეგების პრაქტიკულად გამოყენების გზებიც. ამ მიზნით ხელმძღვანელი უნდა ფლობდეს მისი ორგანიზაციის ხერხებს, აგრეთვე წინასწარ უნდა დაისახოს შესასწავლი ობიექტის მკვეთრი გამოკვეთა და საკვლევ ტერიტორიის ლანდშაფტის ძირითადი ნიშნების გამოყოფა, განზოგადებებისა და დასკვნების ორგანიზაცია. აქედან გამომდინარე წინასწარ უნდა იყოს შერჩეული შესასწავლი ტერიტორიის მთლიანი, ანუ მისაწვდომი ტიპური ადგილები, რადგან შერჩეული უბნები შეიძლება რამდენიმე იყოს და მათი შესწავლის შედეგების ერთმანეთთან შედარებით შეიქმნება მთლიანი წარმოდგენა საერთო-საკვლევ ტერიტორიის ლანდშაფტების შესახებ. ამის შესაბამისად საკვლევ ტერიტორიის შესწავლის დროს უნდა გამოვიყენოთ კვლევის ძირითადი მეთოდები: ლიტერატურულ-ბიბლიოგრაფიული, სადაც ნაგულისხმევია საკვლევ ტერიტორიის ბუნებ-რივი-ტერიტორიული კომპლექსის შესახებ არსებული ლიტერატურის გაცნობა; ტერიტორიის ლიტერატურული გაცნობა სტუდენტებს აძლევს წარმოდგენას საკვლევ ტერიტორიის ბუნებისა და ტერიტორიაზე მდებარე ქალაქის, რაიონისა და სხვა ადმინისტრაციული ერთეულების შესახებ.

2. ძირითადი ნაწილი.

საველე მუშაობის დაწყების პირველ მეცადინეობაზე ხელმძღვანელი საკვლევ მხარის ლიტერატურულ გაცნობასა და შესწავლასთან ერთად სტუდენტებს აცნობს საველე დღიურების წარმოებას. საველე დღიური ეს არის პირველი სამეცნიერო-კვლევითი მასალა, რომელიც იწყება ლიტერატურული თუ საარქივო მასალებიდან და შეიცვება საველე მუშაობის დროს დაკვირვების შედეგად მიღებული ახალი მასალებით. საველე მუშაობის შემდეგი მეცადინეობები წარმოებს თვით ბუნებაში, სადაც ხდება უშუალოდ ვიზუალური საველე

დაკვირვება ბუნებრივ-ტერიტორიულ კომპლექსზე. საველე მუშაობისას გამოიყენება ველის სამარშრუტო მეთოდო, რის შემდეგაც ხდება მოცემულ ტერიტორიაზე დაკვირვებათა შედეგად ფაქტიური მასალის შეგროვება: საველე მუშაობის პერიოდში პრაქტიკის ხელმძღვანელი წინასწარ ადგენს გეგმა-კითხვარს, რომელიც უნდა წარმოადგენდეს სასწავლო და სამეცნიერო პრობლემურ ამოცანებს.

საველე მუშაობისას ლანდშაფტების რეკრეაციული ანალიზის გაადვილების მიზნით უნდა დაისახოს შემდეგი მიმართულება:

1. ტერიტორიის ბუნებრივ-რეკრეაციული რესურსების გამოვლინება;
2. კონკრეტული პარამეტრები და რეკრეაციული მიმართულების შეფასება;
3. რეკრეაციული არეალების, ლანდშაფტების გარემოს ხარისხის დადგენა;
4. რეკრეაციული პოტენციალის ხელოვნური გაუმჯობესების შესაძლებლობა;
5. რეკრეაციული ნორმატივების დამუშავება;
6. ლანდშაფტების განვითარების ასახვა და მიმართულების გამოვლინება, მათი განვითარების პროგნოზები ბუნებრივ-ტერიტორიული კომპლექსის ფუნქციონირების განსაზღვრულ დონეზე.

საველე მუშაობის დაწყების წინ უნდა მომზადდეს ჯგუფი მუშაობისათვის გათვალისწინებული ტექნიკური აღჭურვილობით: ფიზიკური მომზადებით, რომელიც გულისხმობს ჯგუფის თითოეული წევრისათვის მუშაობის პირობების შექმნას დადგენილ ვადაში. ამავე დროს ჯგუფი უნდა მომზადდეს თეორიულად რომელიც პრაქტიკის მსვლელობაში წარმოადგენს დასახული მიზნით ტერიტორიის შესწავლის საფუძველს. პირველ რიგში ტოპოგრაფიული რუკის წაკითხვა, ადგილის ორიენტირება, მოძრაობა აზიმუტის მიხედვით, უბნის აგეგმვა, ადგილის გაცნობა, რელიეფის დამახასიათებელი ფორმების აღწერა, ქანების შესწავლა, მდინარის სიჩქარისა და ხარჯის გაზომვა, დაკვირვება წყლის გამჭვირვალობაზე, წყლის ქიმიური შემადგენლობის განსაზღვრა, წყლისა და ჰაერის ტემპერატურის გაზომვა, მცენარეთა სარეველებით სარგებლობა, რეკრეაციული მიზნით პრაქტიკის დაწყების წინ ხელმძღვანელი ჯგუფს აცნობს, თუ როგორი სახის ლანდშაფტია შესასწავლი და როგორი მართოდით შეიძლება საკვლევი ტერიტორიის ბუნების კომპონენტების რეკრეაციული შეფასება. ამ თვალსაზრისით, პირველი დაკვირვება წარმოებს რელიეფის ფორმებზე, რითაც განისაზღვრება, თუ როგორი ლანდშაფტია შესასწავლი.

რელიეფის ფორმების გამოყოფისა და მორფომეტრიის აღწერისათვის წინასწარ უნდა შედგეს სანიმუშო გეგმა: მთის ან ბორცვის მდებარეობა, ორიენტირება, გარეგანი მოხაზულობა, გარეგანი სახე, (მგვალი, გუმბათისებური, პირამიდული, და ა. შ) ფერდობები (დამრეცი, ციცაბო) მათი ექსპოზიცია, აფსოლუტური და შეფარდებითი სიმაღლეები, ფერდობის დახრილობა გრადუსებში, გეოლოგიური აგებულება, ქანების განლაგების ფორმები.

საველე მუშაობის პერიოდში ზემოდ აღნიშნული გეგმიდან გამომდინარე უნდა დაისახოს რეკრეაციული ღონისძიებები (აქტიური და პასიური დასვენების ფორმები), აქვე უნდა იყოს გათვალისწინებული რეკრეაციული ღონისძიებების დადებითი და უარყოფითი შედეგები, შესაბამისად აუცილებელია დადგინდეს, როგორი იქნება ლანდშაფტის კომპონენტის წინააღმდეგობის უნარი ზემოქმედ ძალაზე, რისთვისაც პრაქტიკის დროს შესწავლილი უნდა იქნეს ქანების განლაგების ფორმები, გეოლოგიური აგებულება, რელიეფის დახრილობა, რაც განაპირობებს რეკრეაციულ დატვირთვის დროს წინააღმდეგობის ხარისხს.

დასახული გეგმით ტერიტორიის შესწავლა რეკრეაციული თვალსაზრისით თანმიმდევრობით უნდა იქნეს დაცული, რაც ითვალისწინებს ბუნების კომპონენტებს შორის მიზეზ-

შედეგობრივ კავშირს. საველე მუშაობის მომდევნო საკითხს წარმოადგენს ნიადაგ-მცენარეული საფარის შესწავლა რეკრეაციული თვალსაზრისით, რისთვისაც ხელმძღვანელი წინასწარ ამზადებს ჯგუფს ტექნიკური აღჭურვილობით.

ნიადაგის შესასწავლად ჯგუფს თან უნდა ჰქონდეს ტრანშეა, სადაც კარგად მოჩანს ჰორიზონტები, ორშტეინი და ყუთი ნიადაგის პროფილის შესანახად. საველე პრაქტიკა უნდა წარიმართოს იმ მიმართულებით რომ სტუდენტ-პრაქტიკანტმა უნდა შეძლოს მორფოლოგიური ნიშნების მიხედვით განსაზღვროს ნიადაგები, ნიადაგის შესწავლა საველე პრაქტიკის დროს უნდა წარიმართოს ორი მიმართულებით: 1. ნიადაგის შესწავლა მოფოლოგიის მიხედვით, რაც გულისხმობს შემდეგს: ნიადაგის შენება, ჭრილის მთლიანი ცალკეული ჰორიზონტების სისქე, ფერი, მექანიკური შედგენილობა, სტრუქტურა, აგებულება, ახალმქმილები და ჩანართები. 2. უნდა ჩატარდეს დაკვირვება გარეგანი ფაქტორების ზემოქმედების შედეგად ეროზიულ პროთეზებზე, დაკვირვებისას უნდა გამოიკვეთოს, როგორი სახის ეროზია არის განვითარებული; ნორმალური სახის (ბუნებრივი პროცესების შედეგად) თუ არაგონივრული (ადამიანის მოქმედებით გამომუშავებული), ზედაპირული თუ სიღრმითი.

ნიადაგის შედგენილობის შესაბამისად, უნდა დადგინდეს რეკრეაციული მეცადინეობის სახეები, რაც გამოიწვევს დადებით შედეგებს (დატვირთვის ნორმატივების სწორი შემუშავებით და ორგანიზებით შედეგების შენარჩუნება), ამავე დროს უნდა აისახოს უარყოფითი შედეგები (ეროზიული პროცესების, ნიადაგის გამოტკეპნის, ქანების დაშლის), მისი გამომწვევი მიზეზები.

გარდა აღნიშნულისა, საველე-პრაქტიკული მუშაობის მთავარი საგანია ბუნებრივ-ტერიტორიული კომპლექსის სტრუქტურისა და მისი მდგომარეობის შესწავლა. აქ იგულისხმება განსაკუთრებით მცენარეული საფარის (ფიტომასა) შემადგენლობა. მცენარეული საფარის რეკრეაციული შესწავლის მიზნით ხელმძღვანელი წინასწარ ადგენს თემატურ გეგმას, სადაც მოცემული უნდა იყოს: 1. მცენარეთა თანასაზოგადოების აღწერა, რომელიც ვითარდება მისთვის ნიშანდობლივ პირობებში. 2. მცენარეთა ასოციაცია, რომელიც აერთიანებს მზგავს მცენარეთა დაჯგუფებებს სახეობრივი შემადგენლობით, სტრუქტურითა და ცვალებადობის ხასიათით. 3. მცენარეთა ასოციაციის დამახასიათებელი დეტალები: სახეობრივი შემადგენლობა, იარუსიანობა, სიმჭიდროვე, ფენოლოგიური მდგომარეობა, ასპექტი, კომპონენტის გავრცელების სიხშირე და ხასიათი. 4. მცენარეული საფარის (ფიტომასის) მდგომარეობის შესწავლა რეკრეაციული პროცესების მიმდინარეობის შედეგად. 5. მცენარეული საფარის დიგრესიის სტადიების შესწავლა, დიგრესიის გამომწვევი მიზეზები. 6. დიგრესიის დადებითი მნიშვნელობის ასახვა რეკრეაციული ზემოქმედების დროს (დაბურული ტყის შეთხელება ნაწილობრივ გამოსხივება, სინათლის მოყვარე და უხემს მოიარე ბალახების გამოჩენა), 7. რეკრეაციული არეალების გამოყოფა და მასზე დატვირთვის ნორმატივების შემუშავება.

საველე პრაქტიკის დროს მნიშვნელოვნად უნდა იქნეს წარმოდგენილი მცენარეთა კორომის შემადგენლობა. წინა პლანზე წამოიწევა კარგი სანიტარულ-ჰიგიენური დეკორატიული თვისებების მქონე ჯიშები; მცენარეთა სახეობრივი შემადგენლობა, სიმჭიდროვე, მისი სტრუქტურა შესწავლილი უნდა იქნეს იმ მიმართულებით, რითაც იქმნება დასვენების სრულფასოვანი პირობები. განსაკუთრებით უნდა იქნეს აღწერილი მცენარეთა ის ჯიშები, რომელსაც გააჩნია უნარი შექმნას ტყის ჯანსაღი ჰაერი უხილავი მფრინავი ნაწილობრივ ბაქტერიოციდების, ფუნგოციდებისა და პროსტიტოციდების თვისებებით; ესე იგი რომელთაც გააჩნიათ ავდმყოფობის გამომწვევი პარაზიტებისა და ბაქტერიების დახოცვის უნარი (ეს ნაწილაკებია ფიტონციდები)

საველე-პრაქტიკული მუშაობის შედეგების საფუძველზე (გამოკვლეული მასალების მიხედვით), უნდა შევადგინოთ რეკრეაციული რუკები, სადაც გამოსახული იქნება მიმდინარე რეკრეაციული პროცესები; მოკვლეული მასალები უნდა იძლეოდეს პროგნოზული რუკების შედგენის საშუალებას, რისთვისაც საველე მუშაობის პერიოდში აუცილებელია ცხრილები, გრაფიკები, სადაც უნდა აისახოს კონკრეტული მოვლენები, ლანდშაფტების რეკრეაციური შეფასებისას საველე მუშაობის ცალკე საკითხად უნდა გამოიყოს ჰიდროგრაფიული აღწერა.

ტერიტორიის ჰიდროგრაფიული აღწერა მოითხოვს პირველ რიგში ლიტერატურული მასალების გაცნობას, ჩანაწერების, ციფრობრივი მასალების დაკონკრეტებას, საილუსტრაციო მასალებით გაფორმებასა და ა.შ. შესწავლისას უნდა აისახოს მხარის ჰიდროქსელის რეკრეაციული თვისებები, რომელიც აუცილებელია რეკრეაციული მიმდინარეობის დროს. ჰიდროგრაფიული აღწერების დროს განსაკუთრებით ცალკე უნდა გამოიკვეთოს მდინარეთა ქსელები აგრეთვე ტბის, ზღვის, მინერალური წყლების: მათი რეკრეაციული დახასიათება. მინერალური წყლების აღწერის დროს უნდა იქნეს შესწავლილი მათი ქიმიური და ფიზიკური შემადგენლობა აგრეთვე ამავე დროს პარალელურად წარიმართოს დაკვირვება ატმოსფეროსა და წყლის ტემპერატურათა თანაფარდობის შესახებ.

3. დასკვნა.

ზემოთ აღნიშნულიდან გამომდინარე ლანდშაფტების რეკრეაციური შეფასების, სწავლების საველე-პრაქტიკული მუშაობა, მიმდინარეობს ორი მიმართულებით: ერთი, რომელიც წარმოადგენს საველე-პრაქტიკული სწავლების ხერხებსა და მეთოდებს, მეორე, სამეცნიერო-კვლევითი მუშაობის დაუფლებას, რომელიც მიზნობრივად წარმოსახული უნდა იყოს საველე-პრაქტიკული მუშაობის პროცესში.

გამოყენებული ლიტერატურა:

1. პოლოვინკინი. ფიზიკური გეოგრაფიის სწავლების მეთოდика, თბ, 1995.
2. გორონჩენკო, ი.სტეფანოვი, ბუნებამთცოდნეობის სწავლების მეთოდика, თბ, 1984.
3. ჩიქოვანი, საქართველოს სარეკრეაციო ტყეები, თბ, 1986.

Organization of Recreational Assessment and Research of Landscapes in Higher Education

Alexander Diasamidze

Batumi Shota Rustaveli State University

aleksandre.diasamidze@bsu.edu.ge

Resume

One of the methods of teaching natural sciences is field-practical work, where students acquire not only knowledge of theoretical material, methods of its teaching, but also the means and methods of research and exploration work: As a rule, the main principle of field work is observation of nature, which implies the perception of objects and phenomena of living and non-living nature by the student in order to form correct ideas, concepts, skills and habits.

Keywords: landscapes, recreation, field practice, observation of nature

On Lebesgue-Fejer-Steinhaus theorem

Mzevinar Bakuridze¹, Vaja Tarieladze²

¹Batumi Shota Rustaveli State University

²Muskhelishvili Institute of Computational Mathematics, GTU

mzevinar.bakuridze@bsu.edu.ge, v.tarieladze@gtu.ge

Abstract

In this survey, dedicated to 150-th birthday anniversary of Henri Leon Lebesgue (June 28, 1875 - July 26, 1941), in particular, we plan to demonstrate that the name "Lebesgue-Fejer-Steinhaus theorem" is justified for the following result:

Theorem. There exists a continuous function whose Fourier series converges point-wise, but not uniformly.

At the end we formulate a conjecture related with this theorem.

1. Zygmund's version

In Antony Zygmund, Trigonometric series, Third Edition, Volumes I & II Combined, with a foreword by Robert Fefferman. Cambridge Mathematical library. Cambridge University Press, 2002.

one can find the following theorem:

Theorem 1 [1, Ch. VIII, Theorem 1.13, p.300] There exists a continuous function whose Fourier series converges point-wise, but not uniformly.

In connection of this theorem A. Zygmund refers the papers;

Leopold Fejer, Sur les singularites de la serie de Fourier des fonctions continues.

Annales scientifiques de l' Ecole Normale Supérieure 28 (1911), 63-104. and

Hugo Steinhaus, Sur la convergence non-uniforme des series de Fourier, Publ. l' Ac. de Cracovie (1913), 145-160

1. Fichtengoltz's version

On p. 497 of

G. M. Fichtengoltz, Course of Differential and Integral Calculus, vol.

III (in Russian), Moscow, 1969

it is written:

" In 1906 H. Lebesgue has constructed an example of a continuous function, for which its Fourier series converges to this function everywhere, but not uniformly."

Therefore, according to Fichtengoltz (June 5, 1888 - June 26, 1959),

Theorem 1 was obtained by Lebesgue before Fejer and Steinhaus.

Surely, Fichtengoltz meant the paper **Henri Lebesgue**, Sur la divergence et la convergence non-uniforme des series de Fourier. C. R. 141, 875-877 (1906).

Bari's version

On p. 128 of **Bari**, Trigonometric series (in Russian), Moscow, 1961. (see beginning of §43 of Chapter I). it is written:

"We want to show that if on a continuous function $f(x)$ we do not impose some further restrictions, then it may happen that its Fourier series may diverge on some point, or may converge everywhere, but converge non-Uniformly near of a point. The first examples of these kind were given by Du Bois Reymond and Lebesgue, that's why these facts are named as peculiarity of Du Bois Reymond (the case of divergence) and peculiarity of Lebesgue (the case of non-uniform convergence)."

We note that a reference to 1873's German paper by Paul David Gustav du Bois-Reymond (2 December 1831 - 7 April 1889) is given, while no a reference to a Lebesgue's work is given.

Note also that §44 of Chapter I in Bari's book is entitled as follows:

„A continuous function with the Fourier series, which converges everywhere but not uniformly“. The reference list of Bari's book (as well as of Zygmund's book) does not contain H. Lebesgue's above mentioned paper of 1906.

Lebesgue's role

In the reference list of Bari's book (as well as of Zygmund's book) presents the following text:

Lebesgue, H. Lecons sur les series trigonometriques. Paris, Gautier Villars, 1906, 128 p.

§47 (p.88) of Lebesgue's text begins as follows:

"Existence de fonctions continues representables par leurs series de Fourier non uniformement convergentes".

Because of Lebesgue's works [6,7] we think that Theorem 1 should be named as "The Lebesgue-Fejer-Steinhaus theorem".

Final remarks

On p.89 of §47 of Lebesgue's text [7] we can find something very interesting (we hope that our translation from French is correct):

Lebesgue's Question 1: "Is there a continuous function, which has everywhere divergent Fourier series?"

Lebesgue's Question 2: "Is there a continuous function with everywhere convergent Fourier series, but there is no an interval on which it would converge uniformly?"

A negative answer to the first question remained open until 1966, when Swedish mathematician Lennart Axel Edvard Carleson (born 18 March 1928) has published a proof of Lusin's conjecture. Now we can add that, simultaneously, L. Carleson has answered also Lebesgue's Question 1.

After formulating the above questions, on p.89 of §47 of Lebesgue's text [7] we can find also the following footnote:

"Dans un note de Comptes rendus (29 decembre 1902) M. Stekloff a indique que la reponse a la premiere de ces questions etait negative. La demonstration de cette propriete n'a pas encore ete publiee et les renseignements que contient la Note citee sont insufficants, a ce qu'il me semble, pour permettre la reconstitution de cette demonstration".

Unfortunately, we could not find the 'Note de M. Stekloff'. We can conclude that, according to Lebesgue, in 1902 V. A. Steklov (9 January 1864 - 30 May 1926) made an attempt to prove that the Fourier series of a continuous function always has a point of convergence.

The second question posed by Lebesgue was solved positively in the above cited papers by Fejer and Steinhaus. This solution proposed by Fejer is included in Zygmund's and Bari's books. Steinhaus's paper has few citations, among them is a nice survey paper by Levan Zhizhiashvili (1934- 2006):

L. V. Zhizhiashvili, Some problems in the theory of simple and multiple trigonometric and orthogonal series, *Uspekhi Mat. Nauk*, 1973, Volume 28, Issue 2(170), 65-119.

In August 19, 2018 with the help of Professor Zbigniew Lipecki (Wroclaw, Poland) we got a scanned copy of Steinhaus' paper [8]. According to Steinhaus, Lebesgue's question 1 was initially posed by Du Bois Reymond.

As far as we could clarify until now the following version of Theorem 1 was obtained:

Theorem 2. There exists a continuous odd function whose Fourier series converges point-wise, but not uniformly.

Based on [1] in [2] we conjectured that if for a continuous periodic even function its Fourier series converges point-wise, then it converges uniformly (at least on some interval).

References:

1. Mzevinar Bakuridze, Some classes of functions and the question of convergence and summability of their Fourier series. Candidate Dissertation (in Georgian), Ivane Javakhishvili Tbilisi State University, November 29, 1996.
2. Mzevinar Bakuridze, Vaja Tarieladze, On Fejer-Steinhaus Theorem. Book of Abstracts of IX International Conference of the Georgian Mathematical Union Dedicated to 100-th Anniversary of Ivane Javakhishvili Tbilisi State University, Batumi - Tbilisi, September 3 - 8, p. 81. 2018
3. Bari, N.K. Trigonometric series (in Russian), Moscow, 1961.
4. Leopold Fejer, Sur les singularites de la serie de Fourier des fonctions continues. *Annales scientifiques de l'Ecole Normale Supérieure* 28 (1911), 63-104.
5. G. M. Fichtengoltz, Course of Differential and Integral Calculus, vol. III (in Russian), "Nauka", Moscow 1969.
6. Lebesgue, H. Sur la divergence et la convergence non-uniforme des series de Fourier. (French) *JFM* 36.0331.02 C. R. 141, 875-877 (1906).
7. Lebesgue, H. *Lecons sur les series trigonometriques*. Paris, Gautier-Villars, 1906, 128 p.
8. Hugo Steinhaus, Sur la convergence nonuniforme des series de Fourier, *Publ. l'Ac. de Cracovie* (1913), 145-160.
9. L. V. Zhizhiashvili, Some problems in the theory of simple and multiple trigonometric and orthogonal series, *Uspekhi Mat. Nauk*, 1973, Volume 28, Issue 2(170), 65-119.
10. Antony Zygmund, Trigonometric series, Third Edition, Volumes I & II Combined, with a foreward by Robert Fefferman. Cambridge Mathematical library. Cambridge University Press, 2002.

სოციალური მედიის ზეგავლენა საზოგადოებრივ აზრსა და ინფორმაციის სანდოობაზე: თანამედროვე ICT-ის გამოწვევები და მიღწევები

ნინო ქიტიაშვილი

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

nkitiashvili@itvet.ge

რეზიუმე

სოციალური მედია XXI საუკუნეში წარმოადგენს ერთ-ერთ მთავარ ინფორმაციულ-საკომუნიკაციო ფენომენს, რომელიც მნიშვნელოვნად ახდენს ზეგავლენას საზოგადოებრივ აზრზე. პლატფორმები, როგორიცაა Facebook, Instagram, TikTok და YouTube, ახალგაზრდებს აძლევენ კომუნიკაციის, თვითრეალიზაციის, კრეატიულობისა და ინფორმაციის სწრაფად მიღების შესაძლებლობას. თუმცა ამავდროულად, სოციალური მედია ზრდის დეზინფორმაციის გავრცელების რისკს, ხელს უშლის კრიტიკულ აზროვნებას, შესაძლოა ფსიქოლოგიური ზემოქმედებაც მოახდინოს და შექმნას საინფორმაციო ბუშტები, სადაც მომხმარებელი იღებს მხოლოდ საკუთარი შეხედულებების დასტურ ინფორმაციას.

სტატია წარმოადგენს ანალიტიკურ მიმოხილვას, რომელიც აერთიანებს როგორც საერთაშორისო გამოცდილებას, ისე ქართულ რეალობას. განხილულია სოციალური მედიის დადებითი და უარყოფითი მხარეები, საინფორმაციო ტექნოლოგიების (ICT) როლი ინფორმაციის სანდოობის უზრუნველყოფასა და ფაქტების შემოწმების (fact-checking) პროცესებში. სტატია ასევე იძლევა რეკომენდაციებს სოციალური მედიის უპასუხისმგებლო გამოყენების შემცირების მიზნით.

საკვანძო სიტყვები: სოციალური მედია, საზოგადოებრივი აზრი, ICT, დეზინფორმაცია, fact-checking, ინფორმაცია

1. შესავალი.

სოციალური მედია XXI საუკუნეში გახდა თანამედროვე ინფორმაციული საზოგადოების ძირითადი პლატფორმა. ახალგაზრდები სოციალური ქსელების საშუალებით ეძებენ მეგობრებს, ინფორმაციის წყაროებს, კარიერულ შესაძლებლობებს და თვითრეალიზაციის გზებს. მათი ყოველდღიური ჩართულობა სოციალურ ქსელებში იზომება რამდენიმე საათით დღეში, რაც გულისხმობს ინტენსიურ გამოყენებას.

თუმცა, სოციალური მედიის პოპულარობას თან ახლავს სერიოზული გამოწვევები:

1. ინფორმაციის სანდოობა: მომხმარებლებს ხშირად უჭირთ დეზინფორმაციისგან სანდო ინფორმაციის გამორჩევა.

2. საზოგადოებრივი აზრის ფორმირება: ალგორითმები მორგებულია ინდივიდუალურ ინტერესებზე, რაც ზრდის საინფორმაციო “ბუშტების” წარმოქმნას.

3. ფსიქოლოგიური ზემოქმედება: ზედმეტმა ჩართულობამ შეიძლება გამოიწვიოს სტრესი, შფოთვა და თვითშეფასების დაქვეითება.

სტატიის მიზანია:

- სოციალური მედიის დადებითი და უარყოფითი გავლენის ანალიზი;
- შეფასება ICT-ის მიღწევებისა, რომლებიც მიზნად ისახავენ ინფორმაციის სანდოობის უზრუნველყოფას;
- რეკომენდაციების შემუშავება სოციალური მედიის უპასუხისმგებლო გამოყენების შემცირებისათვის.

2. მსჯელობა.

1. სოციალური მედიის პოზიტიური გავლენა

კომუნიკაცია და სოციალური კავშირები. სოციალური ქსელები ზრდის კომუნიკაციის ეფექტურობას. ახალგაზრდები ადვილად იღებენ და აზიარებენ ინფორმაციას მეგობრებთან, ოჯახის წევრებთან, კოლეგებთან და სხვ. ამით ერთდროულად ვითარდება ციფრული კულტურა, რაც ხელს უწყობს ინტერაქტიულობას და კულტურულ გაცვლას.

განათლება და თვითრეალიზაცია. პლატფორმები, როგორიცაა YouTube, Coursera, LinkedIn Learning და TikTok და მათი საგანმანათლებლო არხები, ხელს უწყობენ სწავლების პროცესის გაფართოებას. ახალგაზრდები ახორციელებენ პროექტებს, აქვეყნებენ ნაშრომებს, მონაწილეობენ კონკურსებში, რაც ზრდის კრეატიულობას და პროფესიულ განვითარებას.

ინფორმაციის სწრაფი მიღება. სოციალური მედია საშუალებას გვაძლევს მივიღოთ სიახლეები რეალურ დროში, რაც განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია სამეცნიერო და ტექნოლოგიურ განვითარებაში ჩართულებისთვის.

2. უარყოფითი გავლენა

დეზინფორმაცია და საინფორმაციო ბუშტები. სოციალური ქსელები ხშირად იყენებენ ალგორითმებს, რომლებიც მომხმარებელს აჩვენებენ მხოლოდ იმ კონტენტს, რაც შეესაბამება მათ ინტერესებს.

შედეგად, იზრდება “საინფორმაციო ბუშტების” წარმოქმნა, რაც ზღუდავს კრიტიკულ აზროვნებას.

ფსიქოლოგიური ზემოქმედება. კვლევების მიხედვით, ინტენსიური გამოყენება ზრდის შფოთვისა და სტრესს, განსაკუთრებით ახალგაზრდებში.

ვირტუალური სამყარო ქმნის არასრულყოფილი ცხოვრების ცრუ სურათს, რასაც ახალგაზრდები ხშირად საკუთარ ცხოვრებას ადარებენ, რაც იწვევს დაბალ თვითშეფასებას.

დროის არასწორი მართვა. საშუალოდ ახალგაზრდები დღეში 2–3 საათს ატარებენ სოციალურ ქსელებში, რამაც შესაძლოა ზეგავლენა მოახდინოს აკადემიურ აქტივობებსა და რეალურ სოციალურ ურთიერთობებზე.

3. საერთაშორისო გამოცდილება

EUvsDisinfo (ევროკავშირი) – fact-checking პლატფორმა დეზინფორმაციის წინააღმდეგ.

ამერიკაში ორგანიზაცია – Common Sense Media ავითარებს ციფრულ წიგნიერებას ახალგაზრდებში, რათა მათ შეეძლოთ სანდო წყაროების გარჩევა.

აზიის ზოგიერთ ქვეყანაში მოქმედებს AI-based პლატფორმები, რომლებიც ავტომატურად ამოწმებენ ახალი ამბების სანდოობას.

4. ქართული კონტექსტი

საქართველოში 15–29 წლის ადამიანების 78% ყოველდღიურად იყენებს სოციალურ ქსელებს.

რამდენიმე fact-checking ინიციატივა მოქმედებს: მაგალითად, კვლევითი ჯგუფები და არასამთავრობო ორგანიზაციები ებრძვიან დეზინფორმაციას.

ICT-ის მიღწევები: ალგორითმების დახვეწა, უსაფრთხოების წესების დაცვა და ციფრული წიგნიერების პროგრამები.

5. ტექნოლოგიური გამოწვევები და მიღწევები

AI და fact-checking: ხელოვნური ინტელექტი ანალიზს უწევს სიახლეებს, აფასებს სანდოობას, იცავს მომხმარებელს მცდარი ინფორმაციისგან.

ალგორითმული რეკომენდაციები: უზრუნველყოფს ინდივიდუალურ კონტენტს, თუმცა ზრდის საინფორმაციო ბუშტების წარმოქმნის რისკს.

ციფრული წიგნიერება: სასწავლო პროგრამები ზრდის ახალგაზრდების უნარს ერთმანეთისგან გაარჩიონ სანდო და არასანდო ინფორმაცია.

ცხრილი: სოციალური მედიის გავლენა

ასპექტი	დადებითი მხარე	უარყოფითი მხარე	ICT-ის მხარდაჭერა
კომუნიკაცია	მეგობრებთან და ოჯახთან სწრაფი კავშირი	დროის დაკარგვა, ზედმეტი ჩართულობა	AI-based ჩატბოტები, ფორუმების მართვა
განათლება	ონლაინ კურსები, ცოდნის გაზიარება	ყურადღების გადანაწილება, შემცირებული კონცენტრაცია	e-Learning პლატფორმები, განათლების ანალიტიკა
ფსიქოლოგია	თვითრეალიზაცია, კრეატიულობა	სტრესი, შფოთვა	ონლაინ კონსულტაცია, ფსიქოლოგიური მხარდაჭერა
ინფორმაცია	სწრაფი მიღება	დეზინფორმაცია, ბუშტები	AI-based fact-checking, ციფრული წიგნიერება

3. შედეგები

1. სოციალური მედია აუმჯობესებს კომუნიკაციას, ინფორმაციაზე ხელმისაწვდომობასა და თვითრეალიზაციას.
2. ზრდის დეზინფორმაციის, ფსიქოლოგიური ზემოქმედების და საინფორმაციო ბუშტების რისკს.
3. ICT-ის თანამედროვე მიღწევები (AI, fact-checking, ციფრული წიგნიერება) უზრუნველყოფს ინფორმაციის სანდოობის გაუმჯობესებას.

4. დასკვნა და რეკომენდაციები

- მედია და ციფრული წიგნიერება უნდა განავითარონ სკოლებსა და უნივერსიტეტებში.
- AI და fact-checking ინსტრუმენტები მნიშვნელოვანია დეზინფორმაციის წინააღმდეგ.
- პასუხისმგებელი სოციალური მედიის კულტურა აუცილებელია, განსაკუთრებით ახალგაზრდებში.
- რეკომენდებულია საზოგადოებრივ კამპანიებში აქტიური ჩართულობა, რათა ინფორმაცია იყოს სანდო, ხოლო ახალგაზრდებმა შეძლონ კრიტიკულად განსაზღვრონ კონტენტი.

გამოყენებული ლიტერატურა

1. Boyd, D. (2014). It's Complicated: The Social Lives of Networked Teens. Yale University Press.
2. Livingstone, S., & Helsper, E. (2007). Gradations in digital inclusion: Children, young people and the digital divide. New Media & Society, 9(4), 671–696.
3. Rideout, V., & Robb, M. (2018). Social Media, Social Life: Teens Reveal Their Experiences. Common Sense Media.

4. UNESCO. (2021). Media and Information Literacy Curriculum.
5. საქართველოს სტატისტიკის ეროვნული სამსახური (2023). ახალგაზრდობისა და ციფრული ტექნოლოგიების გამოყენება საქართველოში.
6. EUvsDisinfo. (2022). Fact-checking initiatives in the European Union.

The Influence of Social Media on Public Opinion and Information Reliability: Contemporary ICT Challenges and Achievements

Nino Kitashvili

Georgian Technical University

nkitashvili@itvet.ge

Abstract

In the 21st century, social media is one of the main information and communication phenomena, significantly influencing public opinion. Platforms such as Facebook, Instagram, TikTok, Twitter, and YouTube provide youth with opportunities for communication, self-expression, creativity, and rapid information access. However, social media also increases the risk of disinformation, hinders critical thinking, may have psychological impacts, and creates information bubbles where users receive content that confirms their existing beliefs.

This paper presents an analytical review of both international and Georgian experiences. The positive and negative effects of social media are examined, as well as the role of ICT in ensuring information reliability and supporting fact-checking processes. Recommendations are provided for reducing irresponsible social media use.

Keywords: social media, public opinion, ICT, disinformation, fact-checking, information

ლიტერატურის ახალი სიცოცხლე - ციფრული მწერლობა და მედიატრანსფორმაცია თინათინ გიორგაძე

ბათუმის N6 ფიზიკა-მათემატიკის საჯარო სკოლა

giorgadze.tinatin4@teachers.gov.ge

რეზიუმე

თინათინ გიორგაძის მიერ შექმნილი პროექტი „ლიტერატურის ახალი სიცოცხლე - ციფრული მწერლობა და მედიატრანსფორმაცია“ მიზნად ისახავს, გააუმჯობესოს ქართული ენისა და ლიტერატურის სწავლება ციფრული და მედიატრანსფორმაციის დანერგვით. პროექტის ძირითადი მეთოდოლოგია პროექტზე დაფუძნებული სწავლება (PBL) არის. პროექტი 10 თვის განმავლობაში აერთიანებს მრავალფეროვან აქტივობებს, მათ შორის: ციფრული პორტფოლიოს შექმნას, ინტერაქტიულ პოეზიას, ანიმაციურ ადაპტაციას, კოლაბორაციულ წერას, პოდკასტების მომზადებას, მუსიკალურ ინტერპრეტაციებს, AR/VR ტექნოლოგიების გამოყენებას და ლიტერატურულ გეიმიფიკაციას. პროექტი მიზნად ისახავს, მოსწავლეებს განუვითაროს კრიტიკული აზროვნება, თანამშრომლობის, კომუნიკაციისა და პრობლემის გადაჭრის უნარები. ის სრულად შეესაბამება ეროვნულ სასწავლო გეგმას.

საკვანძო სიტყვები: ციფრული წიგნიერება, მედიაწიგნიერება, პროექტზე დაფუძნებული სწავლება (PBL), მედიატრანსფორმაცია, ინოვაციური სწავლება

1. შესავალი

პროექტის მთავარი მიზანია, ქართული ენისა და ლიტერატურის სწავლება გაამრავალფეროვოს, დანერგოს მედიატრანსფორმაცია და განუვითაროს მოსწავლეებს ციფრული კომპეტენციები. მოცემულია ამოცანები, რომელთაგან თითოეული დაკავშირებულია ინოვაციურ აქტივობებთან, როგორცაა ციფრული პორტფოლიოს შექმნა, ინტერაქტიური პოეზია, ფანფიქშენი, AR/VR ტექნოლოგიების გამოყენება და სხვა.

პროექტზე დაფუძნებული სწავლება (PBL), როგორც ძირითადი მეთოდოლოგია

პროექტი „ლიტერატურის ახალი სიცოცხლე - ციფრული მწერლობა და მედიატრანსფორმაცია“ სრულად ეფუძნება პროექტზე დაფუძნებული სწავლების (PBL - Project Based Learning) მეთოდოლოგიას. PBL არის აქტიური სწავლების მიდგომა, რომლის დროსაც მოსწავლეები ცოდნას, უნარებსა და კომპეტენციებს იძენენ რეალური და კომპლექსური ამოცანების გადაჭრით. VII კლასის მოსწავლეებში ჩატარდა კვლევა, რომელმაც გამოავლინა ლიტერატურისა და ყოველდღიური ცხოვრების დაკავშირების საჭიროება და მოსწავლეთა ინტერესი მულტიმედიური მასალის მიმართ. პროექტის მიზანი, გააუმჯობესოს მოსწავლეთა მოტივაცია და ჩართულობა ლიტერატურის სწავლებაში, უშუალოდ გამომდინარეობს ამ კვლევის შედეგებიდან.

პროექტი ითვალისწინებს მოსწავლეთა მიერ ნამუშევრების პრეზენტაციას, რაც მათ საშუალებას აძლევს, საკუთარი შემოქმედება და მიდგომები წარმოაჩინონ, რაც, თავის მხრივ, ზრდის მათ ავტონომიას. ამგვარი მიდგომა ხელს უწყობს 21-ე საუკუნის ისეთი უმნიშვნელოვანესი უნარების განვითარებას, როგორცაა თანამშრომლობა, კომუნიკაცია, პრობლემის გადაჭრა და კრიტიკული აზროვნება. პროექტი, რომელიც ათი თვის განმავლობაში აერთიანებს მრავალფეროვან აქტივობებს - როლური თამაშებიდან და რეპორტაჟებიდან დაწყებული, ციფრული პორტფოლიოებითა და კოლაბორაციული წერით დამთავრებული - უზრუნველყოფს,

რომ მოსწავლეები მუდმივად იყვნენ აქტიურ შემოქმედებით პროცესში და არა პასიური ინფორმაციის მომხმარებლები.

ციფრული და მედიაწიგნიერება, როგორც პროექტის მთავარი მიზანი. პროექტი მიემართება ციფრული წიგნიერებისა და მედიაწიგნიერების განვითარებას. ციფრული წიგნიერება არ შემოიფარგლება მხოლოდ ტექნიკური უნარებით, არამედ მოიცავს ციფრული ხელსაწყოების პასუხისმგებლობით გამოყენებას, ციფრულ ინფორმაციასთან აქტიურ, კრიტიკულ და მნიშვნელოვან ურთიერთობას. პროექტი მიზნად ისახავს, მოსწავლეებს განუვითაროს კრიტიკული კომპეტენციები, რომლებიც მათ საშუალებას მისცემს, შეაფასონ და გამოიყენონ ინფორმაცია ეთიკური და რეფლექსიური ჩარჩოს ფარგლებში.

კვლევები ადასტურებს, რომ ციფრული წიგნიერება მჭიდროდ უკავშირდება კრიტიკულ აზროვნებას. ანალიზის თანახმად, ციფრული წიგნიერება მოსწავლეების კრიტიკული აზროვნების გაუმჯობესებაში 42.6%-ით იღებს მონაწილეობას. ეს ეფექტი განპირობებულია იმით, რომ ტექნოლოგიების ინტეგრაცია სწავლის პროცესში მოსწავლეებს საშუალებას აძლევს, გაეცნონ პერსპექტივათა ფართო სპექტრს, შეადარონ ინფორმაცია სხვადასხვა წყაროებიდან და განავითარონ კრიტიკული მსჯელობის უნარი. ამრიგად, პროექტი ხელს უწყობს არა მხოლოდ ტექნიკური უნარების, არამედ კომპლექსური შემეცნებითი ასპექტების განვითარებას, როგორცაა წყაროების სანდოობის შეფასება, არგუმენტების ანალიზი და ინფორმაციის სინთეზირება მრავალი წყაროდან.

პროექტის მიზნები და მათი შესაბამისობა ადგილობრივ კონტექსტთან. პროექტის ღირებულება კიდევ უფრო იზრდება, თუ მას ქართულ საგანმანათლებლო და სოციალურ კონტექსტში განვიხილავთ. ლიტერატურის სწავლების განახლებული მიდგომები აუცილებელია მოსწავლეთა მოტივაციისა და ჩართულობის გასაზრდელად. საქართველოს განათლებისა და მეცნიერების სამინისტროს მიერ შემუშავებული ეროვნული სასწავლო გეგმა ქართული ენისა და ლიტერატურის სწავლებაში აქცენტს აკეთებს პრობლემაზე დაფუძნებულ მიდგომაზე, რომელიც მოითხოვს პრობლემების გადაჭრის ალტერნატიული გზების ძიებას და საკუთარი დამოკიდებულების გამოხატვას. აღნიშნული პროექტი სრულად შეესაბამება ამ მოთხოვნებს, ვინაიდან თითოეული ამოცანა გულისხმობს აქტიურ, კრეატიულ და პრობლემაზე ორიენტირებულ საქმიანობას.

პროექტი „ლიტერატურის ახალი სიცოცხლე - ციფრული მწერლობა და მედიატრანსფორმაცია“ წარმოადგენს ჰოლისტურ საგანმანათლებლო მოდელს, რომელიც აერთიანებს პროექტზე დაფუძნებული სწავლების უპირატესობებს, ციფრული და მედიაწიგნიერების განვითარების აუცილებლობასა და კრიტიკული აზროვნების ცენტრალურ როლს. იგი ლიტერატურას აქცევს არა მხოლოდ აკადემიური შესწავლის საგნად, არამედ მოსწავლეებისთვის თავდაჯერებულობისა და კრეატიული თვითგამოხატვის პლატფორმად.

ამოცანების მიმოხილვა:

ამოცანა N1 - ვიზუალური ნარატივი და ციფრული პორტფოლიო. პროექტის პირველი ამოცანა, ვიზუალური ნარატივის გაცნობა, ტექსტის გრაფიკულ ნოველად/კომიქსად გარდაქმნა და ციფრული პორტფოლიოს შექმნა, ეფუძნება ციფრული ამბის შექმნის (Digital Storytelling) კონცეფციას. ეს მიდგომა აერთიანებს ტექსტს, გრაფიკას, აუდიოსა და ვიდეოს, რითაც ხელს უწყობს მოსწავლეებს, თავიანთი იდეები მულტიმედიური ფორმატით გადმოცენ. კვლევები ადასტურებს, რომ ასეთი ტიპის აქტივობები მნიშვნელოვნად აუმჯობესებს წერის უნარებს, მათ შორის იდეების ორგანიზებას, სიტყვათა მარაგის შერჩევასა და წინადადების სტრუქტურას. ციფრული ამბის შექმნა მოსწავლეებს უვითარებს კრიტიკული

აზროვნების უნარებს და უზრუნველყოფს, რომ ისინი პასიური მომხმარებლებიდან აქტიურ შემქმნელებად გარდაიქმნებიან, რაც აძლევს მათ საშუალებას, ლიტერატურა საკუთარ ციფრულ რეალობას დაუკავშირონ. პროექტის ფარგლებში შექმნილი ციფრული პორტფოლიოები (ბლოგები) კი ემსახურება როგორც ნამუშევრების ორგანიზების, ასევე თვითგამოხატვის პლატფორმას.

ამოცანა N2 - ციფრული და ინტერაქტიური პოეზია. მეორე ამოცანა, ინტერაქტიული პოეზიის შექმნა, განიხილავს, თუ როგორ გარდაქმნის ციფრული მედია ლიტერატურულ ფორმებს. თანამედროვე ციფრული ლიტერატურა, განსაკუთრებით ჰიპერტექსტუალური პოეზია, სადაც მკითხველი აქტიურ მონაწილეობას იღებს, აზუნდოვნებს საზღვარს ავტორსა და მკითხველს შორის. ეს პროცესი, რომელიც ტექსტუალურ და ვიზუალურ გამოხატვას აერთიანებს, ეხმარება მოსწავლეებს, უკეთ გაიაზრონ ტექსტის სიღრმისეული შინაარსი და გაამდიდრონ მათი მხატვრულ-ესთეტიკური გემოვნება. ამგვარი აქტივობები ხელს უწყობს მულტიმოდალური კომპოზიციური უნარების განვითარებას, ვინაიდან მოსწავლეები აანალიზებენ, თუ როგორ ურთიერთქმედებს ტექსტი, გამოსახულება და სხვა მედია ელემენტები ერთმანეთთან.

ამოცანა N3 - მოკლე პროზა და ანიმაციური ადაპტაცია. ამ ამოცანის ფარგლებში, მოსწავლეები გაეცნობიან ფლემ-ფიქშენის, ანუ ძალიან მოკლე პროზის ჟანრს, რომელიც მათ ლაკონიური და ზუსტი წერის უნარს უვითარებს. ეს არის უნარი, რომელიც გადამწყვეტია თანამედროვე ციფრულ ეპოქაში ეფექტური კომუნიკაციისთვის. ლიტერატურული ტექსტების ანიმაციად ადაპტაცია კი მოსწავლეებს უბიძგებს, სიღრმისეულად გააანალიზონ ნარატივის სტრუქტურა, პერსონაჟების მოტივაცია და მთავარი იდეები. ისინი იძულებულნი ხდებიან, ტექსტი დაშალონ მთავარ სცენებად და ეპიზოდებად, რაც ხელს უწყობს მასალის უკეთ გააზრებას და ვიზუალურად გადმოცემას.

ამოცანა N4 - კოლაბორაციული წერა და ჯგუფური ნარატივები. პროექტის ეს ამოცანა სრულად ემთხვევა პროექტზე დაფუძნებული სწავლების უმთავრეს პრინციპებს. კოლაბორაციული წერა, როდესაც მოსწავლეები ჯგუფებად იყოფენ და ერთად ქმნიან საერთო ნარატივს, ხელს უწყობს კომუნიკაციისა და გუნდური მუშაობის უნარების განვითარებას, რაც თანამედროვე სამუშაო გარემოში ყველაზე მოთხოვნილი კომპეტენციაა. კოლაბორაციული წერა, განსაკუთრებით მაშინ, როდესაც თითოეული წევრი წერს ამბავს სხვადასხვა პერსონაჟის პერსპექტივიდან, აძლიერებს მოსწავლეებში ემპათიას, კრიტიკულ აზროვნებასა და უნარს, დაინახონ სიტუაცია მრავალი კუთხიდან. ეს მიდგომა ქმნის შემოქმედებით გარემოს, სადაც თავისუფლად ხდება იდეების გაცვლა და განვითარება.

ამოცანა N5: აუდიო-ვიზუალური პროდუქცია (პოდკასტები, ვლოგები). პროექტი იყენებს პოდკასტებისა და ვლოგების საგანმანათლებლო პოტენციალს. კვლევები ადასტურებს, რომ პოდკასტების გამოყენება და მათი შექმნა დადებითად აისახება მოსწავლეთა მოტივაციასა და გააზრების უნარზე. ეს ფორმატი განსაკუთრებით ეფექტურია აუდიტორული ტიპის შემსწავლელებისთვის და ხელს უწყობს მათ ჩართულობას სასწავლო პროცესში. ლიტერატურულ თემებზე პოდკასტებისა და ვლოგების მომზადება მოსწავლეებს საშუალებას აძლევს, ლიტერატურა გამოიტანონ წიგნის ფურცლებიდან და განიხილონ იგი ცოცხალი საუბრის, რეპორტაჟის ან დისკუსიის ფორმატში. ეს მიდგომა აუმჯობესებს მათს ზეპირ-მეტყველებას, კრიტიკული აზროვნებასა და უნარს, გადასცენ ინფორმაცია აუდიტორიისთვის გასაგები ფორმით.

ამოცანა N6: მუსიკალური ინტერპრეტაცია და ციფრული პიესა. პროექტის ეს ნაწილი ეფუძნება „რემიქსის პედაგოგიკის“ კონცეფციას, რომელიც გულისხმობს არსებული მედია პროდუქტების, ამ შემთხვევაში, ლიტერატურული ტექსტების, გამოყენებას ახალი, შემოქმედებითი ნაწარმოებების შესაქმნელად. კვლევები აჩვენებს, რომ რემიქსის აქტივობები, როგორცაა ვაჟასა და აკაკის ტექსტების მუსიკალური ადაპტაცია, აძლიერებს მოსწავლეების შემოქმედებითობას და მულტიმოდალურ კომპოზიციურ უნარებს. რემიქსი არ გულისხმობს ორიგინალ ტექსტის ზედაპირულ კოპირებას, არამედ მის ღრმა გააზრებასა და ახალ კონტექსტში გადმოტანას, რაც ხელს უწყობს ლიტერატურის უკეთ გაგებასა და ემოციური შინაარსის ახლებურად გამოხატვას.

ამოცანა N7: AR/VR ტექნოლოგიები და ონლაინ ლიტერატურული ჟურნალი. პროექტში გაძლიერებული (AR) და ვირტუალური (VR) რეალობის ტექნოლოგიების ჩართვა ლიტერატურის სწავლებაში თანამედროვე პედაგოგიური მიდგომაა, რომელიც აძლიერებს მოსწავლეთა ჩართულობას და გააზრების დონეს. კვლევები მიუთითებს, რომ AR/VR ტექნოლოგიები ქმნის იმერსიულ, ინტერაქტიურ გამოცდილებას, რომელიც მოსწავლეებს აბსტრაქტული ლიტერატურული ცნებების ვიზუალიზაციის საშუალებას აძლევს. ეს მიდგომა ხელს უწყობს ინფორმაციის უკეთ გაგებასა და შენარჩუნებას: კვლევის მიხედვით, AR/VR ტექნოლოგიების გამოყენებით სწავლის შედეგები გაიზარდა 30%-ით, ხოლო 70%-მა აღნიშნა, რომ ინტერაქტიური პლატფორმები დაეხმარა მათ რთული კონცეფციების გაგებაში. ონლაინ ლიტერატურული ჟურნალის შექმნა კი არის პროექტის შედეგი, რომელიც მოსწავლეებს აძლევს საშუალებას, დაეუფლონ ციფრული პუბლიკაციის, რედაქტირების და ინტელექტუალური საკუთრების პრინციპებს.

ამოცანა N8: სოციალური მედია ადაპტაციები და ლიტერატურული რემიქსები. ამ ამოცანის ფარგლებში, პროექტი იყენებს „ფანფიქშენის“ (Fanfiction) და რემიქსის პედაგოგიკას. ლიტერატურული პერსონაჟების Instagram-ის ან TikTok-ის პროფილებად გარდაქმნა არის თანამედროვე მიდგომა, რომელიც აკავშირებს ახალგაზრდების ციფრულ სამყაროს ტრადიციულ ლიტერატურასთან. კვლევები ადასტურებს, რომ ფანფიქშენის წერა ხელს უწყობს შემოქმედებითობის გაზრდას, ნარატიული ტექნიკების სიღრმისეულ გაგებასა და კრიტიკული აზროვნების განვითარებას. მოსწავლეები ხელახლა აანალიზებენ და ინტერპრეტირებენ ორიგინალ ტექსტს, რათა შექმნან ახალი, თანამედროვე ვერსია. ეს პროცესი მათ უვითარებს უნარს, კრიტიკულად შეაფასონ არსებული ინფორმაცია და შექმნან საკუთარი, ორიგინალური კონტენტი.

ამოცანა N9: ლიტერატურული გეიმიფიკაცია. პროექტი გეიმიფიკაციას იყენებს, რაც სწავლების პროცესში თამაშის ელემენტების ინტეგრაციას გულისხმობს. როლური თამაშები და ლიტერატურული ქვიზები ზრდის მოსწავლეთა მოტივაციასა და ჩართულობას. თამაშზე დაფუძნებული ნარატივები, მაგალითად, რიჩარდ ბახის „თოლია, სახელად ჯონათან ლივინგსტონის“ მიხედვით როლური თამაშის შექმნა ეხმარება მოსწავლეებს, გააანალიზონ პერსონაჟების მოტივაცია და კონფლიქტები. ეს მიდგომა აუმჯობესებს პრობლემის გადაჭრისა და სტრატეგიული აზროვნების უნარებს, რადგან მოსწავლეებს უწევთ თავსატეხების ამოხსნა და ამოცანების გადაჭრა. გეიმიფიკაცია ხელს უწყობს სწავლის პროცესის უფრო სახალისო და ეფექტურ გამოცდილებად გარდაქმნას.

ამოცანა N10: პერსონალური ანთოლოგია და ციფრული პორტფოლიო. პროექტის ბოლო ეტაპი მოიცავს პერსონალური ანთოლოგიისა და ციფრული პორტფოლიოების შექმნასა და წარდგენას. ეს არის უმნიშვნელოვანესი ნაბიჯი, რადგან ის მოსწავლეებს საშუალებას აძლევს,

მოახდინონ თვითრეფლექსია და კრიტიკულად შეაფასონ საკუთარი განვითარების გზა. ციფრული პორტფოლიო არის სტუდენტზე ორიენტირებული ინსტრუმენტი, რომელიც აჩვენებს მოსწავლის პროგრესს და უვითარებს მათ ციფრული კომპეტენციების მენეჯმენტის უნარებს. ამგვარი პრეზენტაციები აძლიერებს მოსწავლეთა საჯარო გამოსვლისა და თვითწარდგენის უნარებს, რაც აუცილებელია სამომავლო წარმატებისთვის აკადემიურ თუ პროფესიულ გარემოში.

2. შედეგები.

მოტივაცია და ჩართულობა: კვლევამ აჩვენა, რომ პროექტი ზრდის მოსწავლეთა მოტივაციასა და ჩართულობას ლიტერატურის სწავლაში, რადგან ის აკავშირებს ლიტერატურას მათ ყოველდღიურ, მულტიმედიურ ცხოვრებასთან.

უნარების განვითარება: პროექტი ეხმარება მოსწავლეებს, განუვითარდეთ 21-ე საუკუნის ისეთი მნიშვნელოვანი უნარები, როგორებიცაა თანამშრომლობა, კომუნიკაცია, პრობლემების გადაჭრა და კრიტიკული აზროვნება.

ციფრული და მედიაწიგნიერება: პროექტი ხელს უწყობს ციფრული ინსტრუმენტების პასუხისმგებლობით გამოყენებას და მოსწავლეებს უვითარებს უნარს, კრიტიკულად შეაფასონ და გამოიყენონ ინფორმაცია. კვლევის მიხედვით, ციფრული წიგნიერება მოსწავლეების კრიტიკულ აზროვნებას 42%-ით აუმჯობესებს.

შემოქმედება და თვითგამოხატვა: პროექტი ლიტერატურას აქცევს მოსწავლეებისთვის თავდაჯერებულობისა და კრეატიული თვითგამოხატვის პლატფორმად.

აკადემიური შედეგები: AR/VR ტექნოლოგიების გამოყენება აუმჯობესებს გაგებისა და ინფორმაციის შენარჩუნების უნარს. კვლევამ აჩვენა, რომ ამ ტექნოლოგიების ინტეგრირებით სწავლის შედეგები 30%-ით გაიზარდა.

3. დასკვნა

პროექტი „ლიტერატურის ახალი სივრცეზე - ციფრული მწერლობა და მედიატრანსფორმაცია“ წარმოადგენს ინოვაციურ, ჰოლისტურ საგანმანათლებლო მოდელს, რომელიც ეფუძნება პროექტზე დაფუძნებული სწავლების მეთოდოლოგიას. ის წარმატებით აერთიანებს ლიტერატურის სწავლებას ციფრული ეპოქის მოთხოვნებთან და მოსწავლეებს პასიური მომხმარებლებიდან აქტიურ შემქმნელებად გარდაქმნის. პროექტის მეშვეობით მოსწავლეები არა მხოლოდ აუმჯობესებენ ტექნიკურ და კოგნიტურ უნარებს, არამედ ეჩვევიან ინფორმაციის კრიტიკულ ანალიზს, რითაც ემზადებიან თანამედროვე სამყაროში წარმატებისთვის. საბოლოოდ, პროექტი აჩვენებს, თუ როგორ შეუძლია ტექნოლოგიების ინტეგრაციას, ლიტერატურა საინტერესო, პრაქტიკული და აქტუალური გახადოს მოსწავლეებისთვის.

ლიტერატურა:

- მედიაწიგნიერების გზამკვლევი. DW Akademie; USAID Georgia; East-West Management Institute. 2017
- მედიაწიგნიერების სასწავლო მასალები. DW Akademie. 2018
- ლობჟანიძე, ს., ურჩხუნიშვილი, გ., სიხარულიძე, მ., ციფრული მოქალაქეობა ზოგადსაგანმანათლებლო სკოლებში, 2022
- ლობჟანიძე, ს., ურჩხუნიშვილი, გ., სიხარულიძე, მ., ციფრული მოქალაქეობა ზოგადსაგანმანათლებლო სკოლებში, გამოწვევები და დანერგვის გზები, 2024

- Project-Based Learning in Higher Education, Sam Houston State University.
- frontiersin.org, *The Importance of Digital and Media Literacy in the Twenty-first Century*, 2024.
- Researchgate.net, *A Systematic Literature Review on the Use of Podcasts in Education Among University Students*, 2022.
- Richtmann.org, *Teaching and Learning English Literature Through Multimedia*, 2024.
- WPI.edu, *Project-Based Learning*, 2024.
- Researchgate.net, *Impact of Augmented Reality (AR) and Virtual Reality (VR) on Interactive Learning Systems*, 2025.
- Researchgate.net, *The educational potential of fanfiction: analysis of a derivative text*, 2024.

New Life of Literature - Digital Writing and Media Transformation

Tinatin Giorgadze

Batumi Public School N6 of Physics and Mathematics

giorgadze.tinatin4@teachers.gov.ge

Summary

The project "New Life of Literature - Digital Writing and Media Transformation," created by Tinatin Giorgadze, aims to improve the teaching of the Georgian language and literature by incorporating digital and media transformation. The main methodology of the project is Project-Based Learning (PBL). The 10-month project includes a variety of activities, such as creating a digital portfolio, interactive poetry, animated adaptations, collaborative writing, preparing podcasts, musical interpretations, using AR/VR technologies, and literary gamification. The project's goal is to develop students' critical thinking, collaboration, communication, and problem-solving skills. It is fully aligned with the national curriculum.

Keywords: Digital literacy, Media literacy, Project-Based Learning (PBL), Media transformation, Innovative learning, Critical thinking, Teaching literature, Digital competencies.

**საჯარო ინფორმაციის ნამდვილობის პრობლემა ხელოვნური ინტელექტისა და
დეზინფორმაციის ეპოქაში: სამართლებრივი გამოწვევები და
რეგულაციის პერსპექტივები
ირაკლი თედორაძე**

იურიდიული და ბიზნეს საკონსულტაციო კომპანია TED's Solutions
გრიგოლ რობაქიძის უნივერსიტეტის სამართლის სკოლის დოქტორანტი
tedoradze.irakli@gmail.com

რეზიუმე

XXI საუკუნეში ხელოვნური ინტელექტის (AI) და სინთეტიკური მედიის (deepfake) ინტენსიურმა განვითარებამ საჯარო ინფორმაციის სანდოობის სისტემური კრიზისი გამოიწვია. ნაშრომი ანალიზებს ამ პრობლემის ტექნოლოგიურ, ეთიკურ და, უპირველეს ყოვლისა, სამართლებრივ განზომილებებს. განსაკუთრებული ყურადღება ეთმობა საქართველოს მოქმედ კანონმდებლობაში არსებულ ხარვეზებს Deepfake-ისა და ალგორითმული მანიპულაციის კონტროლის კუთხით. განხილულია ევროკავშირის Digital Services Act (DSA)-ის მოდელი, როგორც პლატფორმების პასუხისმგებლობის რეგულირების პოტენციური ჩარჩო. კვლევის შედეგად წარმოდგენილია ინტეგრირებული რეკომენდაციები, რომელიც მოიცავს სპეციალური კანონმდებლობის მიღებას, მედია-წიგნიერების გაძლიერებას და ტექნოლოგიური იდენტიფიცირების მექანიზმების ეროვნულ კონტექსტზე ადაპტაციას.

საკვანძო სიტყვები: ხელოვნური ინტელექტი, ინფორმაციის სანდოობა, მედია-წიგნიერება

1. შესავალი.

XXI საუკუნის საინფორმაციო ლანდშაფტი რადიკალურად შეიცვალა. ინფორმაციის წარმოებისა და გავრცელების სისწრაფემ, რაც სოციალური მედიისა და AI-ის დამსახურებაა, გლობალური გამოწვევა შეუქმნა საზოგადოებრივ ნდობასა და დემოკრატიულ პროცესებს. **Deepfake** ტექნოლოგიის მეშვეობით შექმნილი მაღალი სიზუსტის სინთეტიკური მედია ინფორმაციის ფალსიფიკაციის უპრეცედენტო საფრთხეს ქმნის. ინფორმაციის სანდოობის უზრუნველყოფა კრიტიკულია საზოგადოებრივი თანხმობის, უსაფრთხოებისა და მოქალაქეთა ინფორმირებულობისთვის. ეს კვლევა მიზნად ისახავს AI-ის ეპოქაში საჯარო ინფორმაციის ნამდვილობის პრობლემის **გაღრმავებულ სამართლებრივ ანალიზს** და ამ გამოწვევების დაძლევის სამართლებრივ, ინსტიტუციურ და საგანმანათლებლო გზების წარმოდგენას, განსაკუთრებული აქცენტით საქართველოს კონტექსტზე.

1. ტექნოლოგიური გამოწვევები და Deepfake-ის იურიდიული ბუნება

Deepfake ტექნოლოგია, რომელიც იყენებს გენერაციული კონკურენტული ქსელები (GANs), საშუალებას იძლევა, შეიქმნას **ფოტო-ვიდეო მასალა, რომელიც თითქმის განურჩეველია რეალურისგან**. იურიდიული თვალსაზრისით, Deepfake-ი ქმნის ორ მთავარ პრობლემას:

- ავთენტურობის კრიზისი:** ტრადიციული სასამართლო მტკიცებულებები (აუდიო/-ვიდეო ჩანაწერები) კარგავენ უტყუარობის სტატუსს. სამართლებრივ სისტემას ესაჭიროება ახალი ექსპერტიზის მეთოდები და სტანდარტები სინთეტიკური მედიის იდენტიფიცირებისთვის.
- ცილისწამებისა და მანიპულაციის ახალი ფორმა:** Deepfake შესაძლებლობას იძლევა, საჯარო პირები წარმოდგენილი იქნენ ისეთი ქმედების ჩამდენებად, რაც რეალურად არ განუხორციელებიათ. არსებული სისხლის სამართლის კოდექსები (ცილისწამება,

ცრუ შეტყობინება) ხშირად ვერ უმკლავდება ამ ახალ ფორმას, რადგან ტრადიციული ცნებები არ მოიცავს ციფრული ფაბრიკაციის ასეთ მაღალ დონეს.

3. სამართლებრივი რეგულაციების საერთაშორისო ანალიზი

დეზინფორმაციასთან ბრძოლის საერთაშორისო გამოცდილება სამ ძირითად მოდელს მოიცავს:

2.1. ევროკავშირის მოდელი: პასუხისმგებლობის დაკისრება პლატფორმებისთვის

ევროკავშირის ციფრული სერვისების აქტი (Digital Services Act, DSA) წარმოადგენს ყველაზე ამბიციურ საკანონმდებლო ჩარჩოს. DSA-ს არსი მდგომარეობს იმაში, რომ **პლატფორმებს ეკისრებათ სისტემური პასუხისმგებლობა** დეზინფორმაციით გამოწვეული რისკების შეფასებასა და შემცირებაზე.

- **რისკების შეფასების ვალდებულება:** ძალიან დიდი ონლაინ პლატფორმები (VLOPs) ვალდებული არიან, შეაფასონ, თუ როგორ შეიძლება მათმა ალგორითმებმა ხელი შეუწყოს დეზინფორმაციის გავრცელებას და შეიმუშაონ რისკების მინიმიზაციის მექანიზმები.
- **გამჭვირვალობა:** DSA ითხოვს რეკომენდაციის სისტემების გამჭვირვალობას და მომხმარებლებისთვის უალგორითმო ქრონოლოგიის (non-algorithmic feeds) არჩევის შესაძლებლობის მიცემას.
- **Deepfake-ის მითითება:** DSA მოითხოვს, რომ AI-ით შექმნილი კონტენტი (მათ შორის Deepfake) **გამჭვირვალედ იყოს მონიშნული**, რათა მომხმარებელმა იცოდეს მისი სინთეტიკური ბუნება. ეს არის Deepfake-ის რეგულირების კრიტიკული იურიდიული პრაქტიკა.

2.2. აშშ-ის მოდელი: თვითრეგულაცია და Section 230-ის დაცვა

აშშ-ში დომინირებს სიტყვის თავისუფლებისა და პლატფორმის პასუხისმგებლობის **ლიბერალური მიდგომა**. Communication Decency Act-ის **Section 230** პლატფორმებს ათავისუფლებს მომხმარებლების მიერ გენერირებულ კონტენტზე იურიდიული პასუხისმგებლობისგან. რეგულაცია ამჟამად ძირითადად მიმართულია პლატფორმების წახალისებაზე, თავად განახორციელონ კონტენტის მოდერაცია და ფაქტ-ჩეკინგი. თუმცა, Deepfake-ის საკითხზე შტატების დონეზე (მაგალითად, კალიფორნიაში) უკვე დაწესდა გარკვეული შეზღუდვები.

3. საქართველოს სამართლებრივი ჩარჩო: ხარვეზები და გაუთვალისწინებელი რისკები

საქართველოში მოქმედი კანონმდებლობა ვერ უმკლავდება AI-ით გენერირებული დეზინფორმაციის გამოწვევას. არსებული ნორმები ძირითადად ფოკუსირებულია ტრადიციულ მედიაზე და ანალოგიურ დანაშაულებზე.

ცხრილი 1.

სამართლებრივი აქტი	რეგულირების სფერო	ხარვეზი AI-სა და Deepfake-ის კონტექსტში
კონსტიტუცია (სიტყვის თავისუფლება)	იცავს გამოხატვას, უშვებს შეზღუდვას უსაფრთხოებისათვის.	Deepfake-ის მიზანმიმართული შეზღუდვის ცალკე კრიტერიუმი არ არსებობს.
სისხლის სამართლის კოდექსი (ცილისწამება, ცრუ შეტყობინება)	აწესებს პასუხისმგებლობას მართლსაწინააღმდეგო ინფორმაციის გავრცელებაზე.	არ განასხვავებს ადამიანის მიერ შექმნილ სიცრუეს და მანქანური სწავლებით ფაბრიკაციას; Deepfake-ზე უშუალო მუხლი არ არსებობს.

საარჩევნო კოდექსი	არეგულირებს პოლიტიკურ რეკლამას და წინასაარჩევნო კამპანიას.	არ არის გათვალისწინებული AI-გენერირებული პოლიტიკური რეკლამის გამჭვირვალობის მოთხოვნა (ე.ი. არ არის სავალდებულო მითითება, რომ მასალა ხელოვნურია).
პირადი მონაცემების დაცვის კანონი	კონცენტრირებულია მონაცემთა შეგროვება/დამუშავებაზე.	არ არეგულირებს ალგორითმულ ბაიასს (მიკერძოებას) ან იმას, თუ როგორ იყენებენ AI სისტემები მონაცემებს დეზინფორმაციის კამპანიის შესაქმნელად.

დასკვნა: საქართველოს სამართლებრივ სისტემას სასწრაფოდ ესაჭიროება **სამართლებრივი სიცარიელის შევსება (Lex Gap)** AI-სთან დაკავშირებით, რათა დაცული იყოს საჯარო ინტერესი, სიტყვის თავისუფლების არ შელახვის პირობებში.

4. რეკომენდაციები: ინტეგრირებული სამართლებრივი და საგანმანათლებლო პასუხი

AI-ის გამოწვევებზე რეაგირება უნდა ეფუძნებოდეს **ინტეგრირებულ მიდგომას**, რომელიც მოიცავს სამართალს, ტექნოლოგიასა და განათლებას.

4.1. სამართლებრივი და ინსტიტუციური რეგულაციები (DSA-ის მოდელის გათვალისწინებით)

1. **სპეციალური კანონმდებლობა Deepfake-ზე:** მიღებულ იქნეს კანონი/ცვლილება, რომელიც Deepfake-ის გამოყენებას საარჩევნო მიზნებისთვის ან პიროვნების დისკრედიტაციისთვის **სისხლის სამართლის წესით დასჯადი ქმედებად** გამოაცხადებს, გარდა სატირისა და ხელოვნების მიზნით გამოყენებისა (ავტორის მითითებით).
2. **პლატფორმების გამჭვირვალობის ვალდებულება:** კანონმდებლობით დაწესდეს მოთხოვნა, რომ სოციალურმა ქსელებმა (რომლებიც მნიშვნელოვანი გავლენის მატარებლები არიან) გამოაქვეყნონ **გამჭვირვალობის ანგარიშები** დეზინფორმაციის მოდერაციის მეთოდებზე.
3. **საარჩევნო კანონმდებლობის ცვლილება:** სავალდებულო გახდეს ყველა AI-გენერირებული კონტენტის მონიშვნა პოლიტიკურ რეკლამაში ("AI-ით შექმნილია"), რათა ამომრჩეველს ჰქონდეს ინფორმირებული არჩევანის გაკეთების საშუალება.

4.2. ტექნოლოგიური და კვლევითი აქტივობები

1. **ადგილობრივი ენის ადაპტაცია:** სახელმწიფო და არასამთავრობო სექტორის კოორდინაციით შემუშავდეს AI-ზე დაფუძნებული **ქართულენოვანი აღმოჩენის (იდენტიფიცირების) მოდელები**, რომლებიც იდენტიფიცირებას მოახდენს ქართულ ენაზე გავრცელებულ დეზინფორმაციასა და Deepfake-ს.
2. **სანდოობის ინდექსი:** მედია-საშუალებების სანდოობის საჯარო ინდექსის შემუშავება, რომელიც დაეხმარება მოქალაქეებს, გაარჩიონ სანდო წყაროები საექვსოგან.

4.3. საგანმანათლებლო რეფორმები

1. **მედია-წიგნიერების ინტეგრაცია:** მედია-წიგნიერება და **კრიტიკული აზროვნების უნარები** ინტეგრირებულ იქნეს სასკოლო და საუნივერსიტეტო პროგრამებში, როგორც დეზინფორმაციის წინააღმდეგ ბრძოლის გრძელვადიანი დაცვის მექანიზმი.
2. **ჟურნალისტთა ტრენინგი:** ჟურნალისტებისთვის და იურისტებისთვის მოეწყოს სპეციალური ტრენინგები Deepfake-ის ამოცნობასა და AI-ის სამართლებრივ ასპექტებზე.

3. დასკვნა.

ხელოვნური ინტელექტის ეპოქაში საჯარო ინფორმაციის ნამდვილობის კრიზისი მხოლოდ ტექნოლოგიური ან ეთიკური პრობლემა არ არის; ეს არის უპირველესად **სამართლებრივი რეგულირების გამოწვევა**. საერთაშორისო გამოცდილება, განსაკუთრებით კი DSA-ის მკაცრი მიდგომა, აჩვენებს, რომ სახელმწიფოსა და პლატფორმებს შორის პასუხისმგებლობების მკაფიო გადანაწილება აუცილებელია. საქართველოსთვის სასიცოცხლოდ მნიშვნელოვანია, რომ შეავსოს კანონმდებლობის არსებული ხარვეზები Deepfake-ზე დაუყოვნებელი რეაგირების გზით, დაწეროს პლატფორმების გამჭვირვალობის ვალდებულებები და ინვესტირება ჩადოს საზოგადოების მედია-წიგნიერების ამაღლებაში. მხოლოდ ინტეგრირებული სამართლებრივი, ტექნოლოგიური და საგანმანათლებლო რეფორმებით არის შესაძლებელი დემოკრატიული პროცესების დაცვა დეზინფორმაციის ტალღისგან.

გამოყენებული ლიტერატურა:

1. Castells, M. (2009). Communication Power. Oxford University Press.
2. Chesney, R., & Citron, D. (2019). Deep Fakes: A Looming Challenge for Privacy, Democracy, and National Security. California Law Review, 107(5), 1753-1823.
3. Council of the European Union. (2022). Regulation on a Single Market For Digital Services (Digital Services Act - DSA).
4. Graves, L. (2016). Deciding What's True: The Rise of Political Fact-Checking in American Journalism. Columbia University Press.
5. Kshetri, N. (2017). Blockchain's roles in strengthening cybersecurity and protecting privacy. Telecommunications Policy, 41(9-10), 875-889.
6. Shu, K., Sliva, A., Wang, S., Tang, J., & Liu, H. (2017). Fake News Detection on Social Media: A Data Mining Perspective. SIGKDD Explorations, 19(1), 22-36.
7. Sunstein, C. (2017). #Republic: Divided Democracy in the Age of Social Media. Princeton University Press.
8. Vosoughi, S., Roy, D., & Aral, S. (2018). The Spread of True and False News Online.

The Problem of Authenticity of Public Information in the Era of Artificial Intelligence and Disinformation: Legal Challenges and Regulatory Perspectives

Irakli Tedoradze

Legal and Business Consulting Company TED's Solutions

PhD student, Grigol Robakidze University School of Law

tedoradze.irakli@gmail.com

Abstract

In the 21st century, the intensive development of artificial intelligence (AI) and synthetic media (deepfake) has led to a systemic crisis of the reliability of public information. The paper analyzes the technological, ethical and, above all, legal dimensions of this problem. Special attention is paid to the gaps in the current legislation of Georgia in terms of controlling Deepfake and algorithmic manipulation. The model of the European Union Digital Services Act (DSA) is discussed as a potential framework for regulating the liability of platforms. The research presents integrated recommendations, which include the adoption of special legislation, strengthening media literacy and adapting technological identification mechanisms to the national context.

Keywords: artificial intelligence, information reliability, media literacy

პროექტზე დაფუძნებული სწავლების როლი თანამედროვე განათლებაში

იბრაიმ დიდმანიძე, ია ხასაია, ნატო შეროზია

ბათუმის შოთა რუსთაველის სახელმწიფო უნივერსიტეტი

ibraimdidmanidze@gmail.com, ia.khasaia7@gmail.com, sherozia1966@gmail.com

რეზიუმე

პროექტზე დაფუძნებული სწავლება მნიშვნელოვან როლს ასრულებს თანამედროვე განათლებაში და ხელს უწყობს მის ინტეგრაციას STEM მიმართულებებთან. ნაშრომის მიზანია აჩვენოს, რომ აღნიშნული მიდგომა ხელს უწყობს საგნობრივი შედეგების გაუმჯობესებას, მოსწავლეთა მოტივაციის ამაღლებას და STEM სფეროში კარიერული ინტერესების ჩამოყალიბებას. კვლევა ეფუძნება კონსტრუქტივისტულ და გამოცდილებაზე ორიენტირებულ პედაგოგიურ თეორიებს და იყენებს თვისობრივი კვლევის მიდგომას, რომლის ფარგლებში განხორციელდა ლიტერატურის, საგანმანათლებლო პროგრამებისა და საერთაშორისო გამოცდილების ანალიზი. კვლევის შედეგები ადასტურებს, რომ პროექტზე დაფუძნებული სწავლება მნიშვნელოვნად ავითარებს კრიტიკულ აზროვნებას, შემოქმედებით, თანამშრომლობით და პრობლემების გადაჭრის უნარს, ხელს უწყობს თეორიული ცოდნისა და პრაქტიკული გამოცდილების ინტეგრაციას. მიუხედავად ამისა, პროექტზე დაფუძნებული სწავლების ეფექტურ განხორციელებას ხელს უშლის მასწავლებელთა მომზადების დეფიციტი და რესურსებზე შეზღუდული ხელმისაწვდომობა, თუმცა უკვე იკვეთება პოზიტიური მაგალითები Erasmus+, Millennium Challenge Corporation და ეროვნული სტრატეგიის მხარდაჭერით. პროექტზე დაფუძნებული სწავლება წარმოადგენს არა მხოლოდ სწავლების ინოვაციურ მეთოდს, არამედ საგანმანათლებლო პროცესის ტრანსფორმაციის მნიშვნელოვან შესაძლებლობას.

საკვანძო სიტყვები: პროექტზე დაფუძნებული სწავლება, STEM განათლება, ინოვაცია, კონსტრუქტივიზმი, განათლება, ტექნოლოგიები

1. შესავალი.

თანამედროვე განათლების ერთ-ერთ ძირითად მიმართულებას წარმოადგენს ისეთი სწავლების მეთოდების დანერგვა, რომელიც მოსწავლეებს არა მხოლოდ თეორიული ცოდნის შეძენის, არამედ მისი პრაქტიკული გამოყენების შესაძლებლობასაც აძლევს. ასეთ მიდგომებს შორის განსაკუთრებული ადგილი უკავია პროექტზე დაფუძნებულ სწავლას, რომელიც ეფუძნება პრინციპს, რომ “ცოდნის გაღრმავება ყველაზე ეფექტურად ხორციელდება მაშინ, როდესაც მოსწავლეები რეალური პრობლემების გადაჭრის პროცესში აქტიურად ერთვებიან” [24].

პროექტზე დაფუძნებული სწავლებისადმი ინტერესი მზარდია როგორც ზოგადსაგანმანათლებლო სკოლებში, ისე უმაღლეს საგანმანათლებლო დაწესებულებებში, ვინაიდან იგი მნიშვნელოვნად უწყობს ხელს 21-ე საუკუნისათვის მნიშვნელოვანი უნარების განვითარებას, როგორიცაა „კრიტიკული აზროვნება, გუნდური მუშაობა, პრობლემის გადაჭრის, ეფექტური კომუნიკაციის, შემოქმედებითი აზროვნების, სასწავლო პროცესში მოსწავლეთა ჩართულობის და მოტივაციის გაზრდით“ [23]. შესაბამისად, პროექტზე დაფუძნებული სწავლა, განიხილება არა მხოლოდ სწავლების ერთ-ერთ თანამედროვე მეთოდად, არამედ სასწავლო პროცესის ინოვაციური გარდაქმნის მნიშვნელოვან საშუალებადაც.

2. თეორიული საფუძველი.

პროექტზე დაფუძნებული სწავლების საფუძველი მჭიდროდ უკავშირდება კონსტრუქტივისტულ პედაგოგიურ თეორიებს, რომლებიც ცოდნას არა მხოლოდ ინფორმაციის პასიურ მიღებად, არამედ აქტიური კონსტრუქციის პროცესად განიხილავს. ჯონ დიუის გამოცდილებაზე ორიენტირებული განათლების კონცეფცია სწავლა კეთებით მნიშვნელოვანი საწყისია პროექტზე დაფუძნებული სწავლის ფორმირებისათვის. მისი ხედვით, განათლება მიზნად უნდა ისახავდეს პრაქტიკულ პრობლემებთან შეხებას და რეალურ ცხოვრებაზე ორიენტირებული გამოცდილების შეძენას [13]. ასევე აღსანიშნავია ჟან პიაჟეს კოგნიტური განვითარების თეორია, რომელიც ხაზს უსვამს სასწავლო პროცესში მოსწავლის აქტიურ მონაწილეობას [5]. სწორედ ამგვარი თეორიული საფუძვლები ქმნის პროექტზე დაფუძნებული სწავლის მეთოდოლოგიურ ბაზას.

თანამედროვე სამეცნიერო კვლევების მიხედვით, პროექტზე დაფუძნებული სწავლება მნიშვნელოვან გავლენას ახდენს სიღრმისეული სწავლის პროცესზე. აღნიშნული მიდგომა არ შემოიფარგლება მხოლოდ საგნობრივი მასალის ათვისებით, არამედ აქტიურად ავითარებს მეტაკოგნიტურ უნარებს, როგორიცაა დაგეგმვა, მონიტორინგი და თვითშეფასება, რაც სწავლების ეფექტიანობას მნიშვნელოვნად აძლიერებს [19]. გარდა ამისა, ტექნოლოგიით გაძლიერებული პროექტზე დაფუძნებული სასწავლო გარემო ხელს უწყობს მოსწავლეთა მაღალი დონის აზროვნების, პრობლემის გადაჭრისა და შემოქმედებითი მიდგომის განვითარებას [20]. შესაბამისად, ის არ წარმოადგენს მხოლოდ სწავლების ალტერნატიულ მეთოდს, არამედ არის სასწავლო პროცესის შინაარსობრივად და სტრუქტურულად გარდაქმნის მძლავრი ინსტრუმენტი.

3. მეთოდოლოგია.

მიზნის მისაღწევად ნაშრომში გამოყენებულია თვისებრივი კვლევის მიდგომა, რომელიც იძლევა შესაძლებლობას სიღრმისეულად განვიხილოთ პროექტზე დაფუძნებული სწავლების არსი, მისი უპირატესობები და გამოწვევები. კვლევის პროცესში გამოყენებულია რამდენიმე მეთოდი: ლიტერატურის ანალიზი, რომლის ფარგლებში განხილულია თანამედროვე პედაგოგიური და ფსიქოლოგიური თეორიები და საერთაშორისო კვლევები; პრაქტიკული მაგალითების შესწავლა, რომელიც მოიცავს ფინეთის და აშშ-ს საგანმანათლებლო სისტემების გამოცდილებას, აგრეთვე საქართველოს კონტექსტს; შინაარსობრივი ანალიზი, რომლის ფარგლებშიც შეფასდა სასწავლო პროგრამები; და შედარებითი ანალიზი, რომლის მეშვეობითაც გაანალიზდა საერთაშორისო და ეროვნული გამოცდილებები პროექტზე დაფუძნებული სწავლების დანერგვასთან დაკავშირებით.

დისკუსია. პროექტზე დაფუძნებული სწავლება თანამედროვე საგანმანათლებლო პრაქტიკაში აღიარებულია ერთ-ერთ ყველაზე ეფექტურ პედაგოგიურ მიდგომად. იგი ეფუძნება ინტეგრირებული სწავლების მეთოდს, რომელიც მოიცავს როგორც საგნობრივ-აკადემიური ცოდნის, ისე პრაქტიკული, მეტაკოგნიტური და სოციალური უნარების განვითარებას [6]. პროექტზე დაფუძნებული სწავლების უნიკალურობა განპირობებულია მისი ფოკუსით რეალურ პრობლემებზე, რაც უზრუნველყოფს სწავლას „კეთებით“, მოსწავლეთა აქტიურ ჩართულობას, დამოუკიდებლად მუშაობის უნარების განვითარებასა და ცოდნის კონსტრუქციულ ათვისებას [23], რაც მას მნიშვნელოვნად განასხვავებს ტრადიციული სწავლებისგან.

პროექტზე დაფუძნებული სწავლება ეფუძნება რამდენიმე საკვანძო პრინციპს, რომელთა შორის განსაკუთრებული მნიშვნელობა ენიჭება ინტეგრირებულ საგნობრივ მიდგომას, ჯგუფურ თანამშრომლობასა და კვლევაზე დაფუძნებულ პროცესებს. აღნიშნულ მოდელში მოსწავლე ხდება საკუთარი სწავლების პროცესის მთავარი შემოქმედი პირი, ხოლო მასწავლებელი ასრულებს მრჩეველისა და მოდერატორის როლს.

პროექტზე დაფუძნებული სწავლება ემყარება რამდენიმე ფუნდამენტურ პრინციპს, რომლებიც განაპირობებს მის ჩამოყალიბებას, როგორც განსხვავებულ და ღირებულ საგანმანათლებლო მოდელად. ამ პრინციპებს შორის განსაკუთრებული მნიშვნელობა ენიჭება რეალურ ცხოვრებისეულ პრობლემებზე ორიენტირებულ სწავლებას, პრაქტიკულ აქტივობებში ჩართვას, ინტერდისციპლინარულ საგნობრივ ინტეგრაციას, ჯგუფურ მუშაობას და კვლევაზე დაფუძნებულ ინტერაქტიულ პროცესებს [10]. პროექტზე დაფუძნებულ სწავლების მოდელში მოსწავლე აღარ განიხილება როგორც ცოდნის პასიური მიმღები; იგი მოქმედებს როგორც აქტიური შემოქმედი, რომელიც თავად მართავს საკუთარ საგანმანათლებლო პროცესს. ამ კონტექსტში, მასწავლებლის როლი ტრანსფორმირდება საგანმანათლებლო პროცესის მხარდამჭერად, რომელიც მოსწავლის დამოუკიდებელი საქმიანობისა და მოტივაციის გამაძლიერებელია. პროექტზე დაფუძნებული სწავლების ასეთი მოდელი ხელს უწყობს მოსწავლეებში როგორც საგნობრივი ცოდნის, ისე სიღრმისეული, პრაქტიკული და კომუნიკაციური კომპეტენციების განვითარებას.

პროექტზე დაფუძნებული სწავლების ერთ-ერთ მნიშვნელოვან კომპონენტს წარმოადგენს შედეგის წარდგენა - პროდუქტის, პრეზენტაციის ან სხვა სახის ნამუშევრის ფორმით, რაც მოსწავლეებს შესაძლებლობას აძლევს საკუთარი მიღწევები ფართო აუდიტორიას წარუდგინონ. პროცესის შემაჯამებელ ეტაპს წარმოადგენს რეფლექსია, რომელიც უზრუნველყოფს მიღებული ცოდნის გააზრებას, შეძენილი გამოცდილების კრიტიკულ შეფასებას და შემდგომი საგანმანათლებლო ნაბიჯების დაგეგმვას.

აღნიშნული პრინციპებიდან გამომდინარე, პროექტზე დაფუძნებული სწავლება გამოირჩევა მრავალმხრივი სარგებელით. უპირველეს ყოვლისა, იგი ხელს უწყობს კრიტიკული აზროვნების განვითარებას, ვინაიდან მოსწავლეები მუდმივად აწყდებიან რეალურ პრობლემებს, რომელთა გადაჭრა მოითხოვს ალტერნატიული მიდგომების ძიებას [2]. გარდა ამისა, პროექტის განხორციელების პროცესი მნიშვნელოვნად ავითარებს პრობლემების გადაჭრის უნარებს, რადგან მონაწილეები სწავლობენ პრობლემის იდენტიფიცირებას, მიზეზების ანალიზსა და ეფექტიანი გადაწყვეტილებების მიღებას [1]. შედეგად, პროექტზე დაფუძნებული სწავლება აღიქმება როგორც ისეთი საგანმანათლებლო სტრატეგია, რომელიც ამაღლებს მოსწავლეთა მოტივაციას და ამზადებს მათ 21-ე საუკუნის სირთულეებთან გასამკლავებლად

პროექტზე დაფუძნებული სწავლება მნიშვნელოვნად ხელს უწყობს მოსწავლეთა კომუნიკაციისა და თანამშრომლობის უნარების განვითარებასა და სრულყოფას. მცირე ჯგუფებში მუშაობის პროცესში მოსწავლეები ეჩვევიან განსხვავებული შეხედულებების გათვალისწინებას, კონსტრუქციულ დისკუსიაში მონაწილეობას და გუნდური პასუხისმგებლობის გაზიარებას [23]. ამასთანავე, პროექტებზე მუშაობა ხელს უწყობს შემოქმედებითი და ინოვაციური აზროვნების განვითარებას, ვინაიდან მოსწავლეები მოტივირებულნი არიან ახალი იდეების გენერირებისა და მათი პრაქტიკულ განხორციელებისკენ.

პროექტზე დაფუძნებული სწავლება მნიშვნელოვნად ზრდის მოსწავლეთა მოტივაციასა და ჩართულობას, ვინაიდან იგი უფრო მჭიდროდ უკავშირდება რეალურ ცხოვრებას, და არა მხოლოდ თეორიული ცოდნის ათვისებას. აღნიშნული მიდგომა საშუალებას აძლევს მოსწავ-

ლებს სხვადასხვა საგნობრივი ცოდნა ინტეგრირებულად გამოიყენონ, რაც ხელს უწყობს კომპლექსური ხედვის ჩამოყალიბებას.

პროექტებზე მუშაობის პროცესში მოსწავლეები იძენენ პრაქტიკულ გამოცდილებას, რომელიც მოიცავს კვლევის ჩატარებას, მონაცემთა ანალიზს, პრეზენტაციის მომზადებასა და შედეგების წარმოჩენას [9].

ამრიგად, პროექტზე დაფუძნებული სწავლების ძირითადი პრინციპები და მისგან გამომდინარე უპირატესობები განაპირობებს ისეთი სასწავლო გარემოს შექმნას, სადაც თეორიული ცოდნა და პრაქტიკული საქმიანობა ორგანულად არის ინტეგრირებული. აღნიშნული მიდგომა განსაკუთრებულ მნიშვნელობას იძენს თანამედროვე საგანმანათლებლო სისტემაში როგორც მისი ეფექტიანობის, ისე ინოვაციური პოტენციალის თვალსაზრისით.

გამოწვევები და სირთულეები. მიუხედავად იმისა, რომ პროექტზე დაფუძნებული სწავლება მრავალი უპირატესობით ხასიათდება, მისი პრაქტიკაში დანერგვა გარკვეულ სირთულეებთან არის დაკავშირებული. ამ გამოწვევების გათვალისწინება აუცილებელია, რათა პროექტზე დაფუძნებული სწავლება ეფექტიანად განხორციელდეს როგორც სკოლებში, ისე უმაღლეს სასწავლებლებში.

1. **რესურსების დეფიციტი** – პროექტზე დაფუძნებული სწავლება ხშირად მოითხოვს დამატებით რესურსებს (ლაბორატორიებს, ტექნოლოგიურ მოწყობილობებს, მასალებს), რაც ყველა საგანმანათლებლო დაწესებულებისთვის ხელმისაწვდომი არ არის.
2. **შეფასების სირთულე** – რთულია ზუსტად განისაზღვროს თითოეული მოსწავლის წვლილი ჯგუფურ პროექტში. საჭირო ხდება მრავალმხრივი შეფასების მეთოდების დანერგვა (თვითშეფასება, თანატოლთა შეფასება, მასწავლებლის შეფასება).
3. **დროის მენეჯმენტი** – პროექტები, როგორც წესი, მოითხოვს დიდ დროს და ძალისხმევას, რის გამოც ხშირად რთულია მათი ინტეგრირება საგაკვეთილო პროცესში.
4. **მოსწავლეთა უნარების განსხვავებულ დონეებზე მორგება** – ერთ ჯგუფში შეიძლება იყვნენ როგორც მაღალი აკადემიური მომზადების მქონე, ისე ნაკლებად ძლიერი მოსწავლეები, რაც ართულებს პროექტში სამუშაო ამოცანების თანაბარ განაწილებასა და ჯგუფური პროცესის ეფექტიანობას.

ამ სირთულეების გათვალისწინება და შესაბამისი სტრატეგიების შემუშავება აუცილებელია იმისათვის, რომ პროექტზე დაფუძნებულმა სწავლამ სრული პოტენციალი გამოავლინოს და რეალურად შეუწყოს ხელი საგანმანათლებლო პროცესის გაუმჯობესებას.

საერთაშორისო გამოცდილება. პროექტზე დაფუძნებული სწავლება მრავალ ქვეყანაში უკვე დამკვიდრებულია როგორც ინოვაციური საგანმანათლებლო მიდგომა. მისი წარმატებული განხორციელება კარგად აჩვენებს, თუ როგორ შეიძლება თეორიისა და პრაქტიკის ინტეგრაცია.

მაგალითად, ფინეთის ეროვნული სასწავლო პროგრამა ითვალისწინებს, რომ ყოველ სასწავლო წელს განხორციელდეს მინიმუმ ერთი ინტეგრირებული პროექტი, რომელიც აერთიანებს სხვადასხვა საგნობრივ დისციპლინას და ხელს უწყობს ინტერდისციპლინარული სწავლის განვითარებას. პროექტები ხორციელდება ხანგრძლივი პერიოდის განმავლობაში და უმეტესად მოიცავს მოსწავლეების დამოუკიდებელ კვლევით საქმიანობას - კითხვების ფორმულირებას, მონაცემთა შეგროვებას, ანალიზს და საბოლოო პრეზენტაციას.

პროექტებზე მუშაობის პროცესში ფართოდ გამოიყენება STEM მიდგომა, რომელიც გულისხმობს მეცნიერების, ტექნოლოგიების, ინჟინერიის, ხელოვნებისა და მათემატიკის ინტეგრაციას. აღნიშნული მიდგომა მიზნად ისახავს მოსწავლეებში ახალი, ინოვაციური

კონცეფციების განვითარებას და მათი პრაქტიკულად განხორციელების უნარის ფორმირებას [4]. მაგალითად, ერთ-ერთ სკოლაში განხორციელებული პროექტის ფარგლებში, მოსწავლეებმა შექმნეს დიზაინ-ობიექტები ადგილობრივი დიზაინერების საქმიანობის კვლევის საფუძველზე, გამოიყენეს 3D მოდელირების ტექნოლოგიები და წარმოაჩინეს ახალი ტიპის სატრანსპორტო საშუალებების მოდელები [17].

ფინეთის სკოლებში კლასგარეშე აქტივობების განხორციელება წარმოადგენს ერთ-ერთ მნიშვნელოვან საგანმანათლებლო პრაქტიკას. აღნიშნული მიდგომა გულისხმობს, რომ პროექტები ტრადიციული საკლასო გარემოს ფარგლებს სცდება და სწავლება ხორციელდება ბუნებრივ გარემოში, საზოგადოებრივ სივრცეებსა და კულტურულ ობიექტებში, როგორიცაა პარკები, ტყეები, მუზეუმები და ისტორიული ძეგლები. ასეთი სწავლება საშუალებას აძლევს მოსწავლეებს ცოდნა შეიძინონ ბუნებრივ კონტექსტში, გააძლიერონ პრაქტიკულ საქმიანობაზე ორიენტირებული უნარები და განვითარონ უშუალო კავშირი გარემოსთან [3].

ამ ტიპის სასწავლო პროექტებში მოსწავლეები ხშირად მუშაობენ ეკოსისტემების კვლევაზე, გარემოს დაცვის საკითხებზე, ადგილობრივი ისტორიისა და არქიტექტურის შესწავლაზე, ასევე სოციალურ კვლევებზე, რაც მათ ეხმარება არა მხოლოდ აკადემიური კომპეტენციების გაღრმავებაში, არამედ მოქალაქეობრივი პასუხისმგებლობის, კულტურული ძეგლების შესახებ ცნობიერების ამაღლებასა და კრიტიკული აზროვნების ჩამოყალიბებაში [21].

ამ მხრივ საინტერესოა ასევე ამერიკის შეერთებულ შტატების გამოცდილება, სადაც პროექტზე დაფუძნებული სწავლება ორგანულად არის შერწყმული STEM საგანმანათლებლო მიდგომასთან და მრავალი წარმატებული ინიციატივის საფუძველს წარმოადგენს. აღნიშნული მოდელი განსაკუთრებით ეფექტურია 21-ე საუკუნის უნარების - კრიტიკული აზროვნების, კრეატიულობის, თანამშრომლობისა და პრობლემების გადაჭრის - განვითარებაში [11].

ამერიკულმა სკოლებმა და საგანმანათლებლო ქსელებმა ჩამოაყალიბეს მრავალფეროვანი საგანმანათლებლო მოდელები, რომლებიც ეფუძნება პროექტზე დაფუძნებული სწავლებისა და STEM-ის ინტეგრაციას და უზრუნველყოფენ როგორც აკადემიურ, ისე პრაქტიკულ შედეგებს. მაგალითად, **Dayton Regional STEM School (ოჰაიო)** მიზანმიმართულად იყენებს პროექტზე დაფუძნებული სწავლების სტრატეგიებს, რაც მოსწავლეებს რეალურ გარემოში პრობლემების კვლევასა და შედეგების საზოგადოების წინაშე წარდგენას საშუალებას აძლევს [9]. **New Technology High School (კალიფორნია)** New Tech Network-ის მოდელის მიხედვით სრულად ეფუძნება პროექტულ სწავლებას და მოსწავლეებს შესაძლებლობას აძლევს, იმუშაონ ტექნოლოგიურ და ინოვაციურ პროექტებზე, ითანამშრომლონ ადგილობრივ ბიზნესთან და საგანმანათლებლო დაწესებულებებთან [12]. ასევე, **Downingtown STEM Academy (პენსილვანია)** განიხილება ერთ-ერთ წამყვან STEM-ორიენტირებულ სკოლად, რომელიც აერთიანებს კვლევით პროექტებსა და ინოვაციურ აქტივობებს, რათა მოსწავლეები მომზადებული იყვნენ STEM კარიერებისთვის [8].

გარდა კონკრეტული სკოლებისა, აშშ-ში ფართოდ გავრცელებულია ეროვნული და საერთაშორისო დონეზე აღიარებული ინიციატივები, როგორიცაა **FIRST Robotics Competition**, სადაც მოსწავლეები გუნდურად ქმნიან რობოტებს და კონკურსებში მონაწილეობენ [14]. NASA-ს მიერ განხორციელებული ინიციატივები, მაგალითად **RealWorld-InWorld Engineering Design Challenge**, საშუალებას აძლევს მოსწავლეებს, იმუშაონ ინჟინრულ ამოცანებზე, მეცნიერებთან ითანამშრომლონ და საკუთარი იდეები როგორც ვირტუალურ, ისე რეალურ გარემოში გამოსცადონ [18].

კვლევები ადასტურებს, რომ პროექტზე დაფუძნებული სწავლებისა და STEM-ის ინტეგრაცია არა მხოლოდ აუმჯობესებს საგნობრივ აკადემიურ შედეგებს, არამედ ზრდის მოსწავლეთა მოტივაციას და ხელს უწყობს STEM სფეროში კარიერული ინტერესების განვითარებას. აღნიშნული მიდგომა განსაკუთრებით ეფექტიანად მოქმედებს მოსწავლეთა ჩართულობაზე, თუმცა შედეგები განსხვავდება მათი აკადემიური მოსწრების მიხედვით. ამასთანავე, საგანმანათლებლო პროცესში კვლავ მნიშვნელოვან გამოწვევად რჩება მასწავლებელთა შესაბამისი მომზადება და რესურსებზე ხელმისაწვდომობა, რაც ხშირად ზღუდავს ინოვაციური პროექტების სრულფასოვან განხორციელებას [11].

ამგვარად, აშშ-ის გამოცდილება აჩვენებს, რომ პროექტზე დაფუძნებული სწავლება და STEM-ის ინტეგრაცია ქმნის ძლიერ საგანმანათლებლო პლატფორმას, რომელიც აერთიანებს კვლევას, პრაქტიკას და ინოვაციას, ხოლო მისი შედეგები მნიშვნელოვან გავლენას ახდენს მოსწავლეთა აკადემიურ და პროფესიულ განვითარებაზე.

პროექტზე დაფუძნებული სწავლების განვითარების ტენდენციები საქართველოში. საქართველოში პროექტზე დაფუძნებული სწავლება ჯერ კიდევ განვითარების ეტაპზეა, თუმცა უკვე იკვეთება მნიშვნელოვანი პრაქტიკული ინიციატივები. კერძოდ, ზოგიერთ სკოლაში პედაგოგები Peace Corps-ისა და ადგილობრივი საგანმანათლებლო ინიციატივების მხარდაჭერით ახორციელებენ პილოტურ პროექტებს, რომლებიც ხელს უწყობს მოსწავლეთა ჩართულობას რეალურ პრობლემებზე მუშაობაში. სკოლებში განხორციელდა პროექტზე დაფუძნებული სწავლება ბავშვთა უფლებების თემაზე, რომელშიც ინტეგრირებული იყო სხვადასხვა საგნობრივი დისციპლინა [7].

STEM განათლების სფეროში განსაკუთრებული წვლილი შეიტანა **Millennium Challenge Corporation-ის (MCC)** პროგრამებმა, რომელთა ფარგლებში დაფინანსდა **STEM Higher Education Project**. ამ პროექტის ფარგლებში უნივერსიტეტებში შეიქმნა თანამედროვე ლაბორატორიები, დაფინანსდა საერთაშორისო აკრედიტაციის პროცესები და განხორციელდა პედაგოგთა პროფესიული განვითარება [15]. ასევე, MCC-ის “Improving General Education Quality” ინიციატივამ ხელი შეუწყო სკოლების ინფრასტრუქტურის განვითარებასა და პედაგოგთა გადამზადებას STEM საგნებში, რაც ქმნის ნიადაგს პროექტზე დაფუძნებული სწავლების ეფექტიანად დანერგვისთვის [16].

გარდა ამისა, Erasmus+ პროგრამის ფარგლებში საქართველოს უნივერსიტეტები აქტიურად მონაწილეობენ საერთაშორისო თანამშრომლობაში, რაც ხელს უწყობს ინოვაციური სწავლების მეთოდების დანერგვას და მასწავლებელთა პროფესიულ განვითარებას. Erasmus+-ის პროექტები ხელს უწყობს საქართველოს უნივერსიტეტებს შორის თანამშრომლობის გაღრმავებას და საგანმანათლებლო ინოვაციების გაზიარებას ევროპულ პარტნიორებთან ერთად [22].

სახელმწიფო დონეზე, **საქართველოს განათლებისა და მეცნიერების განვითარების 2022–2030 წლების ეროვნული სტრატეგია** განსაკუთრებულ ყურადღებას ამახვილებს ინოვაციურ სწავლების მეთოდებზე, მონაცემებზე დაფუძნებულ პოლიტიკასა და თანამედროვე საგანმანათლებლო პრაქტიკებზე. დოკუმენტი ისახავს შემდეგ მიზანს – განათლების ხარისხის გაუმჯობესება, მოსწავლეთა პრაქტიკული უნარების გაძლიერება და განათლების საერთაშორისო სტანდარტებთან დაახლოება [22].

4. დასკვნა.

პროექტზე დაფუძნებული სწავლება თანამედროვე განათლების ერთ-ერთ ყველაზე მნიშვნელოვან მიმართულებას წარმოადგენს. მისი მთავარი ღირებულება მდგომარეობს

თეორიული ცოდნისა და პრაქტიკული გამოცდილების ორგანულ ინტეგრაციაში, რაც მოსწავლეებსა და სტუდენტებს საშუალებას აძლევს მიიღონ რეალური გამოცდილება და განივითარონ 21-ე საუკუნისთვის მნიშვნელოვანი უნარები - კრიტიკული აზროვნება, პრობლემის გადაჭრის უნარი, შემოქმედებითი აზროვნება და თანამშრომლობა. თუმცა, პროექტზე დაფუძნებული სწავლების წარმატებული განხორციელება დაკავშირებულია რიგ სირთულეებთან. იგი მოითხოვს დამატებით მატერიალურ და ტექნოლოგიურ რესურსებს, მასწავლებელთა უწყვეტ პროფესიულ განვითარებას და სწავლების ტრადიციული მოდელის გარდაქმნას. აღნიშნული გამოწვევების დაძლევა შესაძლებელია მხოლოდ სისტემური მიდგომის ფარგლებში, სადაც განათლების პოლიტიკა, სასწავლო პროგრამები და მასწავლებელთა მომზადება იქნება შერწყმული.

საქართველოში პროექტზე დაფუძნებული სწავლება ჯერ კიდევ საწყის ეტაპზეა, თუმცა უკვე იკვეთება პოზიტიური მაგალითები, რომლებიც ადასტურებს მისი გამოყენების ეფექტიანობას. მომავალში მისი ფართომასშტაბიანი დანერგვა განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია რათა სასწავლო პროცესი კიდევ უფრო დაუახლოვდეს რეალურ ცხოვრებისეულ გამოწვევებს და მოსწავლეებსა თუ სტუდენტებს შეეძლოთ ისეთი უნარების განვითარება, რომლებიც საზოგადოებრივ და პროფესიულ ცხოვრებაში მნიშვნელოვნად გამოადგებათ. ამრიგად, პროექტზე დაფუძნებული სწავლება არ უნდა განიხილებოდეს მხოლოდ როგორც სწავლების ერთ-ერთი ინოვაციური მიდგომა; ის წარმოადგენს საგანმანათლებლო პროცესის ტრანსფორმაციის მნიშვნელოვან შესაძლებლობას, რომელიც სწავლას უფრო პრაქტიკულს, ინტერაქტიულს და შედეგზე ორიენტირებულს ხდის.

გამოყენებული ლიტერატურა:

1. აგუსტირა, დ., ალ მუჰდარი, მ. ჰ. ი., ლესტარი, ს. რ., და პრატივი, რ. ტ. (2025). პროექტზე დაფუძნებული სწავლების მოდელის შემუშავება მულტილიტერატურის პედაგოგიური შინაარსის გამოყენებით კრიტიკული აზროვნების, პრობლემის გადაჭრის, გადაწყვეტილების მიღებისა და გარემოსდაცვითი ლიტერატურობის გაუმჯობესების მიზნით. *Edelweiss Applied Science and Technology*, 9(3), 2402–2412. <https://doi.org/10.55214/25768484.v9i3.5812>
2. აშარი, ზ. ბ. მ., და სანი, დ. (2024). პროექტზე დაფუძნებული სწავლება ბავშვთა კრიტიკული აზროვნების უნარების განვითარებისთვის: სისტემატური მიმოხილვა. *პროგრესული განათლებისა და განვითარების აკადემიური კვლევის საერთაშორისო ჟურნალი*, 13(3). <https://doi.org/10.6007/ijarped/v13-i3/21732>
3. ბიძი, ს., ჰიგინსი, პ., და ნიკოლი, რ. (2012). *სწავლა კლასგარეთ: თეორია და პრაქტიკის სახელმძღვანელო*. Routledge.
4. ბოისი, კ. ლ., ალემდარი, მ., ჯექსონი, ჯ. რ., კესლერი, ტ. ს., ჩოი, ჯ., გროსმანი, ს., და უსელმანი, მ. (2024, მაისი). მასწავლებელთა აღქმა და განხორციელება STEAM განათლების შესახებ: ერთი მოდელი ყველასთვის არ არის შესაფერისი. *Frontiers in Education*, 9, 1401191. Frontiers Media SA.
5. გომეს ჰერნანდესი, ს. გ., და ორტიზ ვილიაგომესი, მ. მ. (2025). ჟან პიაჟეს „გონების თეორია“. *Revista Veritas de Difusión Científica*, 6(2), 2185–2194. <https://doi.org/10.61616/rvdc.v6i2.742>
6. დიდმანიძე, ი., თავდგირიძე, ლ., ზასლავსკი, ვ., ხასაია, ი., დობორჯგინიძე, დ., და ოლგა, ი. (2023, ოქტომბერი). ციფრული ტექნოლოგიების გავლენა განათლებაში. 2023 წლის მე-13 საერთაშორისო კონფერენცია საიმედო სისტემებზე, სერვისებსა და ტექნოლოგიებზე (DESSERT), გვ. 1–7. IEEE.
7. Digital Promise. (2024, 26 ნოემბერი). როგორ ვიყენებთ პროექტზე დაფუძნებული სწავლების ძალას საქართველოს რესპუბლიკაში. აღებულია წყაროდან: <https://digitalpromise.org>

8. ვეგა, ვ. (2012). პროექტზე დაფუძნებული სწავლების კვლევის მიმოხილვა: მტკიცებულებებზე დაფუძნებული წარმატების კომპონენტები. Edutopia. <https://www.edutopia.org/pbl-research-learning-outcomes>
9. თომასი, ჯ. უ. (2000). პროექტზე დაფუძნებული სწავლების კვლევის მიმოხილვა. აღებულია წყაროდან: https://tecfa.unige.ch/proj/eteach-net/Thomas_researchreview_PBL.pdf
10. კაპრარო, მ. მ., და ჯოუნსი, მ. (2013). ინტერდისციპლინარული STEM პროექტზე დაფუძნებული სწავლება (გვ. 51–58). SensePublishers, როტერდამი. https://doi.org/10.1007/978-94-6209-143-6_6
11. კონდლიფი, ბ. (2017). პროექტზე დაფუძნებული სწავლება: ლიტერატურის მიმოხილვა. სამუშაო დოკუმენტი. MDRC.
12. ლარმერი, ჯ., მერგენდოლერი, ჯ. რ., და ბოსი, ს. (2015). ოქროს სტანდარტის პროექტზე დაფუძნებული სწავლება: პროექტის დიზაინის აუცილებელი ელემენტები. Buck Institute for Education, 2, 1–4.
13. ლუო, გ. (2024). ჯონ დიუის პრაგმატიზმის ფილოსოფიის წვლილი განათლებისა და მისი რეფორმის გაგებაში. განათლებისა და საგანმანათლებლო კვლევის ჟურნალი, 10(2), 224–228. <https://doi.org/10.54097/8evhak06>
14. მელკიორი, ა., კოენი, ფ., კატერი, ტ., და ლეავიტი, ტ. (2005). მეტია, ვიდრე რობოტები: FIRST Robotics კონკურსის მონაწილეთა და ინსტიტუციური გავლენების შეფასება. <https://files.eric.ed.gov/fulltext/ED500241.pdf>
15. Millennium Challenge Corporation (MCC). (2024). შეფასების მოკლე მიმოხილვა: საქართველოს უმაღლესი განათლების STEM პროექტი. აღებულია წყაროდან: <https://www.mcc.gov>
16. Mathematica. (2020). საქართველოს ზოგადი განათლების ხარისხის პროექტის გავლენის შეფასება. აღებულია წყაროდან: <https://www.mathematica.org>
17. ნორთერნი, ს. (2018). ფენომენზე დაფუძნებული სწავლება ფინეთში შთააგონებს მოსწავლეთა კვლევით ინტერესს. აღებულია წყაროდან: <https://www.edweek.org/teaching-learning/opinion-phenomenon-based-learning-in-finland-inspires-student-inquiry/2018/10>
18. NASA. (2014). საინჟინრო დიზაინის კონკურსი. ამერიკის აერონავტიკისა და კოსმოსური ადმინისტრაცია. <https://www.nasa.gov/audience/forstudents/stem/projects/realworld-inworld.html>
19. პრადო, მ. რ., და პანოი, ჯ. ფ. დ. (2023). პროექტზე დაფუძნებული სწავლების სტრატეგიები მეცნიერებაში და მეტაკოგნიტური უნარები მეხუთე კლასის მოსწავლეებში. <https://doi.org/10.54476/apjaet/54260>
20. ჟანი, ჯ., უ. ჯ., სუნი, ს. ჰ., იანგი, ი., და ჟოუ, მ. (2023). ტექნოლოგიებით გამდიდრებული პროექტზე დაფუძნებული სწავლება: მივცეთ ყოველ ბავშვს „კარგად სწავლის“ შესაძლებლობა (გვ. 93–99). Springer Nature. https://doi.org/10.1007/978-981-99-6225-9_11
21. რატინენი, ი., სარიკაარა, ე., და კუკანენი, პ. (2021). ფინელი სტუდენტ-მასწავლებლების მოსაზრებები გარე გარემოში სწავლების შესახებ. სათავგადასავლო განათლებისა და გარე სწავლების ჟურნალი, 23(2), 146–157. <https://doi.org/10.1080/14729679.2021.1984962>
22. საქართველოს განათლებისა და მეცნიერების სამინისტრო. (2022). განათლებისა და მეცნიერების განვითარების სტრატეგია 2022–2030. აღებულია წყაროდან: <https://www.scribd.com>
23. სილიტუბუნი, ე., კოსტა, ბ., და ნიზამი, ზ. (2024). პროექტზე დაფუძნებული სწავლების როლი XXI საუკუნის უნარების განვითარებაში. საგანმანათლებლო ნარატივების საერთაშორისო ჟურნალი, 2(6), 525–534. <https://doi.org/10.70177/ijen.v2i6.1689>
24. ჰუანგი, მ. (2023). პროექტზე დაფუძნებული სწავლების გავლენა საშუალო სკოლის განათლებაზე - სისტემატური ლიტერატურის მიმოხილვის საფუძველზე. ინფორმატიკისა და კომუნიკაციის უახლესი და ინოვაციური ტენდენციების საერთაშორისო ჟურნალი. <https://doi.org/10.17762/ijritcc.v11i10.8922>

The Role of Project-Based Learning in Modern Education

Ibraim Didmanidze, Ia Khasaia, Nato Sherozia

Batumi Shota Rustaveli State University

ibraimdidmanidze@gmail.com , ia.khasaia7@gmail.com , sherozia1966@gmail.com

Abstract

Project-based learning plays a significant role in contemporary education and contributes to its integration with STEM disciplines. The aim of this study is to demonstrate that this approach enhances academic performance, increases student motivation, and fosters the development of career interests in STEM fields. The research is based on constructivist and experiential learning theories and employs a qualitative methodology, including the analysis of literature, educational programs, and international experiences. The findings confirm that project-based learning effectively develops critical thinking, creativity, collaboration, and problem-solving skills, while promoting the integration of theoretical knowledge with practical experience. However, the effective implementation of project-based learning is often hindered by a lack of teacher preparation and limited access to resources. Nevertheless, positive examples are already emerging, supported by initiatives such as Erasmus+, the Millennium Challenge Corporation, and national education strategies. Overall, project-based learning represents not only an innovative teaching method but also a transformative approach to education that fosters the development of essential 21st-century competencies.

Keywords: Project-based learning, STEM education, innovation, constructivism, education, technology

From the History of Information Ethics: The Culture and Risks of Organizing Political Information

Ibraim Didmanidze¹, Irma Bagrationi¹, Irina Trusevich²

¹Batumi Shota Rustaveli State University

²LLC "Irina Trusevich Academy of Business" (Gomel)

ibraim.didmanidze@bsu.edu.ge, irma.bagrationi@bsu.edu.ge, trusevich@mail.ru

Abstract

The presented report outlines that information Ethics is considered as the field of moral issues and values related to the creation, organization, dissemination, and use of information. Among them are the ethical possibilities of the influence of information culture on the socio-political world. In our case, the basic ethical principles of information Ethics address worldview access to information and confidentiality, intellectual freedom, and the potential for irrelevant use of property - to create a kind of ideological inequality.

The scientific report is interested in the theoretical considerations of the actual questions about ethical worldview meaning of understanding of the innovation dealings world, the nature of its conceptual risk dilemmas and problems and sententious thinking in the sphere of political business industry.

The work is dedicated to the most important aspects of the essence and peculiarities of the social moral standards of innovation approaches in the context of a political solution through methodology of modern mental technology - especially: Cognitive methods with gnostic wisdom research and utilitarian creative knowledge and Axiological methods with overestimation ethical values and demonstrating intellectual concepts. The research deals with the basic theoretical paradigms on the background of ethical worldview analysis [through comparative historical technique] of the leading-edge conceptual theories of the famous contemporary European, Russian and American thinkers.

The report discusses the issue of the possibility of formation of a worldview system through practical ethical requirements that regulates the reactionary politics of intellectual reality to probabilistic hazards. The report demonstratively shows that the ethical standards of universal prohibitions, the moral responsibility of human nature and the Ethics of virtue make a conflict of social and political interests through insurmountable cognitive and discursive difficulties. The report tells that the fundamental ethical concepts of utilitarian thought of historical reminiscences integrates the possibility circumstances into the logical model of making morally important and useful decisions much easier, but in the valuating pragmatic context needs a main transformation in social terms of social-political structure.

The purpose of the scientific report is trying to substantiate, base and ground that in order for the ethical of paroemiatic responsibility and political freedom to be able to fulfill its social tasks, it is necessary to reach some worldview ideas: to create an universal model of moral consciousness; overcome mental and sociocultural biases regarding the assessment of the convincingness of events and determine the relevant logical reaction of society not only to a certain risk of hazard, but also with the uncertainty of the ethical decision related to obtaining information proposals.

Key words: Information Ethics, innovation approaches, ethical decision, information culture, political information, worldview, information.

1. Introduction.

It is best generally known that attempts have been made by scientists and philosophers to classify the forms of the "The Golden Rule of Morality" according to social and political criteria. It is very interesting for us the sententious worldview concepts of a German philosopher, lawyer, political thinker and founder of the first scientific journal "Monthly Conversations" [1690] - Christian Thomasius [1655-1728] who distinguishes three forms of the General Ethical Standard delimiting the social spheres of law [Justice], politics and morality, calling them, respectively, the principles of responsibility [duty], decency [devoir] and respect [honor]:

- The principle of responsibility requires that a person should not do to anyone else what he does not want the other to do to him;
- The principle of decency is to do to another what he wants the other to do to him;
- The principle of respect presupposes that a person should do what he would like others to do.

"This conception insisted upon negative liberty as the political complement to the human capacity for free choice, and made matching metaphysical claims: the nature of being, and especially the conflicts amongst ethical values, were inconsistent with progressive claims" [1]. Of course, we should agree with European thinker in his existential stipulation, that "the package of social and historical conditions of all people through centuries make peculiar the ethical ideals and principles" [2] of political culture world. He "never put the question about the way information could express "the objective will of the world" and "aspiration for the progress", when it fails to reflect technological processes, because they are objective and not subjective-psychological phenomena" [2].

As it turns out the purpose of such mental experiments is to present new theoretical-worldview innovation directions for improving the social-cultural process used in the sphere of political risks management. The modernization of the social information technologies sphere is a key problem of state and educational policy pursued in recent years. The most active intellectual members of political society strive to contribute voluntarily to the solution of the moral dilemmas and risk problems facing him. A strengthening of ethical innovative approaches and the development of managing techniques depend on the shaping of the values of the modernized and leading-edge society. In our opinion, in the role of supporting fundamental structures of valuable empirical experience of progressive traditional technological society are precisely sensitive, delicate and tactful decisions of the historical political organizations. However, "purely figurative-ideological progress and feat are a direct result of the spiritual abilities of the morals" [3].

2. Materials and Methods

In our personal subjective opinion, a risk manager must have a combination of analytical skills, practical experience, theoretical knowledge and moral personal qualities - curiosity and an inquiring mind like the English artistic literary character Mister Sherlock Holmes... Risks by logical system of Deductive Method i. e. Deductive risks of a genius private detective are known as innovation findings, outcomes and results of effective traditional scientific logic.

The most spontaneous answer to the question of how to become a Sherlock might sound like this: "First, buy yourself a black coat". To use the terminology of the American psychologist and Economist, Nobel laureate Daniel Kahneman [1934, March] who published the book "Think Slow - Decide Fast" in 2011, this is the reaction of the so-called "fast thinking" – an intelligent logical system that is responsible for momentary knowledge of the world and cataloging instinctive sensations.

But in order to think - like Sherlock Holmes - "who would give a clear account of the strength of analogical or; concerning, which at present, we seem to know little more than that it does sometimes in fact convince us, and at other times not" [4] - you need to use a different mental system - "slow". It is other cognitive system that is responsible for the deliberate and conscious formation of conceptual ideas, thoughts, decisions, conclusions and assessments.

It is noteworthy that the moral events of historical dilemmas usual fell into the sphere of public and political interests of the creativity character of Sir Arthur Conan Doyle - when he analyzes about the essence of the history of the evolution of the paroemic views on the question of the moral existence of the cognitive mental risks in the process of the individual and personal logical decision-making. And what's speculative for intellectual recipients through artistic storytelling style - historical descriptions of the political reminiscences are described out with great reliability: "The spirit and flow of these stories is remarkable, the accuracy of the naming convention itself demonstrates the scale of your work. Few could find any errors here. And I, possessing a special nose for all sorts of mistakes, have not found anything with insignificant exceptions" [5] - the famous British historian Archibald Forbes [1838-1900] wrote to daring adventuresome author.

It is well known that his main conclusions were deductive and appeared in the mind of the great detective when he tormented his violin or pondered while smoking a pipe. At these moments, Sherlock Holmes turned to his phenomenal knowledge in the field of history and forensic science and classified the case, relying on the "family tree of crimes". This gave the motive, and the motive gave the suspects. This was the specific essence and peculiarities of the deductive method of Sherlock Holmes. Induction gave him food for thought, while deduction gave the relevant answer.

The pragmatic sphere of risk management includes strategy and organizing tactics. The innovation approaches of strategy refer to the direction and way of using methods to achieve the goal. This classical effective empirical and approved method corresponds to a certain set of theoretical cognitive rules and restrictions for making an ethical worldview decision.

3. Discussion.

As we know from the famous and popular Russian publicistic literature - central to the organizational culture are basic ethical valuables - an accumulation of the most significant and unchanging human principles officially adopted in the different industry of dealings, on which, traditionally, the results of settle differences is based.

Here it is interesting for us the scientific, publicistic and creativity heritage by Nikolai Nikolaevich Yakovlev [1927-1996] - a Soviet and Russian historian, Americanist, publicist, Doctor of Historical Sciences, Professor of History at the Institute of Sociology, a senior research scholar Academy of Sciences of the USSR, the author of popular published books and articles in Russian on the United States [with a high elite education through Moscow State Institute of International Relations and Lomonosov Moscow State University Faculty of Law], especially - the most famous political publication "CIA Target - the USSR" [1979] - which the author wrote on the instructions of the Committee for State Security [KGB].

According to the content of the book we can analyze one of the most original and selected west situation with refined tactical and strategically circumstances: "on June 23, 1982, a festive atmosphere reigned outside the headquarters of the Central Intelligence Agency in Langley. Hundreds of CIA officials and others gathered on the grassy hill to listen to President Reagan. While they waited, the

military band delighted the ears with the melodies of war songs. CIA officers treated reporters to punch. President Reagan, meanwhile, was giving a speech to a select audience in a hall in the CIA building, which seats a thousand people. What about a statement? CIA officials declined to report. Following this, the beaming president appeared in front of the crowd - to publicly sign the new legal regulation. A greatest politician of the United States must have declared the New Law on the CIA - passed by Congress: "Up to 10 years in prison and up to 50 thousand dollars in fines to whoever calls the CIA "hero" by name, even if this information is taken from a published source..!" [6]. Instead of this planned act, Ronald Reagan began his speech with a funny story: "Somehow there was a need to urgently contact the CIA agent in Ireland. The authorities in Washington ordered another agent: - Immediately leave for Ireland. That agent's name is Murphy. Your password: "What a nice day, but the evening will be even better!" The messenger arrived in Ireland, found a tavern in the indicated town, and there was a bar. He sat down at the counter, ordered a drink, and said to the bartender, "How do I find Murphy? - If you want Murphy the farmer, he lives two miles down the road from here, in the house on the left. If you want Murphy the shoemaker, he lives on the second floor in the house opposite. Yes, my last name is also Murphy. The agent drank and said: "What a nice day, but the evening will be even better!" Ah, - exclaimed the bartender, - so you need Murphy the spy!" - The President got decent applause, waited, frowned and said with great seriousness: this will not happen again. He added: the CIA officers are all together - "heroes of the dark struggle in the twilight" and uttered a lot of flattering words in their address. And so that in the future, one must think, laurels were not personally distributed to the employees of the department, Reagan signed the law in front of their eyes" [6].

We came to the deciding and can make such final postulate:

- "A serious opposition to the order of political system entails hard personal risk..!" [7]

"In 1987, the US Administration launched a "crusade" against socialism, literally putting forward ethical and other norms of Christianity against it - It stands under the ideological standard on which the name of God is inscribed [...] "Congress should not issue any laws that establish any religion or prohibit its free practice" - reads the first amendment to the US Constitution... The evangelism of the US administration's foreign policy has puzzled American experts on the issue" [8] - Points out an American statesman, historian, diplomat and international relations expert, US National Security Adviser and Secretary of State and Nobel Peace Prize Laureate - Henry Alfred Kissinger [27 May, 1923] in his publicistic critical research-book "World Order" [2015] and then tells us: "an American Professor of Canon History John Scherer spoke in 1988 at a Church Leadership Conference. Significantly for the initiated, he called his qualified speech "When the Church and the State Go Abroad" - The theologian professor pointed out that the question of the separation of church and state is again being brought to the fore with all force: "The churches will have to make a painful decision to be faithful to the secular kingdom or the kingdom of God" The professor found - in his words - "many blatant violations of the First Amendment" in the past, that is, when the US government used the church as its tool in foreign affairs" [8]. We can note here that a statement of the purposes and maintenance with their policy, strategy, procedures and rules promotes the decision of this theoretical problem. Therefore, "Information Ethics includes Professional Ethics, User Ethics and some issues of state policy" [9].

According to Kissinger's viewpoint - "What is religion and politics?" The problem is simple and boils down to the following: the founding fathers, who wrote the constitution, did not have in mind the separation of God and the state, but only thought about the separation of religion and the state; "Today these worldview concepts are often maligned as a system of cynical power manipulation,

indifferent to moral claims... There was no need for any other political or moral justification" [8]. In his November 1990 memoir, an intellectual thinker writes: "American Jerry Farwell - the most famous of the leaders of fundamentalists, the leader of the immoral majority - one of the worst conservative religious canonical leaders, for he has a mass audience and shamelessly treats the truth..." [8] - we came to the deciding and can make such final postulates and outputs:

- Not every Risk is a Noble cause..! - Lecherous risk is not a noble cause..!
- Theologians, of course, entailed a risk arising in a moral conflict between church and state...!

As we know from the 'History of Diplomatic Thought' an famous American politician and historian specializing in the History of colonial America and Atlantic History Jack Philip Green [1931, August - Indiana] in his popular book "Intellectual Construction of America: Exceptionalism and Identity from 1492 to 1800" (1993) explored the early history of American exceptionality as defined by contemporaries in Europe and West World, as well as the social, political, economic, and legal dimensions that supported and determined his theoretical and axiological worldview ideas and non-ordinary outlook of own conceptual system.

According to the publication "[...] in wartime, any message may contain what is secret; this is not a war in the conventional sense; this is an immoral struggle against the constitution and ethical human rights" [7] The author recalls the words of US President John Fitzgerald Kennedy who shortly after entering the White House, said in confidence: "One of the rare and pleasant pleasures of my post is reading the Federal Bureau of Investigation [FBI] documents about my appointments to government posts. You cannot imagine how much immoral filth has been collected about the most holy people" [7] "The Senate is simply proud of their direct involvement in the affairs of political investigation" - the author recalls some passages from the memories of the American military and statesman - Director of Central Intelligence Stansfield M. Turner: "Yesterday I went to a senator just for a courtesy visit. We were discussing something, and suddenly he said to me: "You better write"; he perfectly understands the need to maintain secrecy. For some time, his office was not checked for eavesdropping, and when I mentioned secret matters, we began to exchange notes, sitting together...One of the benefits of congressional control now is that its members begin to understand the importance of intelligence, they realize what an ethical responsibility they have" [7]

It's interesting for us also Jack Philip Green's ethical viewpoints on the analyses of some ideological episodes through progressive European spiritual culture, especially about creative, innovative and high intellectual personal data: From time to time, fragmentary data emerge about the paroemiatic moral "exploits" of the Western political investigation - it was revealed that the scientist Albert Einstein was the object of many years of surveillance by the Federal Bureau of Investigation and military counterintelligence. It turned out that more than half of his life until his death, the writer Ernest Hemingway was under the "hood" of the Federal Bureau of Investigation. Mr. Hemingway was a very important figure who could attack the FBI. Therefore, the department was afraid of him; they acted in strict secrecy methods. It cleared up else - in 1972, pop singer John Winston Ono Lennon (killed in 1980) almost became a victim of political intrigues of the Federal Bureau of Investigation - fearing his personal operative human valuable activities and some innovation statements in favor of peace. The FBI was preparing an operation - to arrest the singer on charges that he was addicted to drugs, and with it is a shame to send him out of the native country; fortunately, the perfidious intrigue failed, Mr. Lennon did not succumb to provocations.

We came to the deciding and can make such outputs: - A person who takes risks for the sake of dignity has specific moral data! – “Not a single politician and, in general, a person would dare to apply for government service if he knew that someone - someday - another would read all this about him...!” [7]

4. Results.

The findings of the article will appropriately develop critical thinking discursive reflection regarding Information Ethics. More specifically: The subject of discourse is used as both classic real-life cases from the history of political thought and theoretical concepts of artistic worldview.

As a result of philosophical reasoning, we identified the following basic concepts of the research topic:

- Freedom of Expression: The right to express ideas and information freely.
- Privacy: Protecting personal information and social activities.
- Intellectual Property: Respecting the rights of creators and ensuring proper attribution for their work.
- Equal access: Bridging the gap between those with and without access to information is a significant challenge for political societies.
- Information as a Public Good: Recognizing that information, in many forms, can have significant public benefits.

Within the framework of the axiological study of the issue raised, the following can be named as the main challenges:

- Information inequality: Violation of equality in social access to communication technologies - among certain political subjects.
- Misuse of communication technologies: Risks associated with socio-political technologies, such as exploitation of primary sources of information or the spread of unconstructive ideologies.
- Censorship and content control: theoretical-worldview debates on information filtering and monitoring its intelligence.

In social practice, Information Ethics is relevant for various professions, especially in political activity, and includes:

- Appreciation and adherence to the norms of the ethical code when dealing with information system risks in a professional manner.
- Balancing access to information with the protection of intellectual property.
- Navigating the ethical complexities of political information, such as directing social relationships to achieve a desired goal.

5. Conclusion.

Based on our specific goal, we think that it is worthy to notice the following circumstance:

The specificity of Ethics as a regulator of social relations is that it acts from within. The power of moral requirements and responsibility, always unconditional in form and strict in content, is that a person should address them to himself and only through the experience of his own life present them to others. The traditional discursive hazard “proposal flows from the one-dimensional model and shows how progressive re-formers forced political competition onto a new dimension” [10]. The connection between innovations, Ethics and managing culture can be figuratively represented in the form of three

spheres located in each other; at the same time, morality constitutes the core sphere, which is the fundamental basis for the sphere of ethical axiological values, which, in turn, is the basis for the sphere of organizational mental culture.

The innovation strategy of managing techniques allows you to concentrate efforts on ethical decision options that do not contradict the adopted strategy, discarding all other options. After achieving the set goal, strategy as a direction and means of achieving it ceases to exist. New goals pose the challenge of developing a new strategy. In social organizations, the formation of basic values goes a long way of transformation, as a result of which they, as a rule, become their needs or obligations to society. In this sense, the basic ethical values are pragmatic, rational, and their choice is determined by the specifics of each social-political institution.

And, at last, we came to the deciding, and we can make the following general output:

Nobody in the socio-political information reality - from the highest officials, the largest scientists and writers - is immune from the risks of political investigation...!

References:

1. Greene Jack Philip, All Men Are Created Equal: Some Reflections on the Character of the American Revolution: An Inaugural Lecture Delivered before the University of Oxford on 10 February 1976, Oxford: "Clarendon Press", 1977. – Pp. 4-7. – URL:
2. https://books.google.ge/books/about/All_men_are_created_equal.html?id=J23EnQAACAAJ&redir_esc=y
3. Bagrationi Irma, Philosophy of Konstantine Kapaneli. Third Revised Edition. Monograph. Part Three: "Synopsis in English", Batumi: "Batumi Shota Rustaveli State University", 2018. – 95 pp. – URL:
4. <https://drive.google.com/file/d/1HPJTqJtPLuFhqkVmHy313LqgTPCUyRrx/view>
5. https://scholar.google.com/scholar?hl=en&as_sdt=0,5&cluster=14504964211396615496
6. Bagrationi Irma, Didmanidze Ibraim, Cultural Studies in Konstantine Kapaneli's Philosophy: Historical Types of Culture and Organotropism, the Journal "Cross-Cultural Studies: Education and Science (CCS&ES)", Volume 10, Issue I, Publisher: Beyer Thomas Robert, "Middlebury College", Vermont, USA, 2025. - Pp. 103-112. DOI: [10.24412/2470-1262-2025-1-103-112](https://doi.org/10.24412/2470-1262-2025-1-103-112) - URL:
7. <https://j-ccses.org/wp-content/uploads/2025/03/Irma-Bagrationi.pdf>
8. Bayes Thomas, Essays in Bayesian Decision Theory, From the Book: An Essay towards Solving a Problem in the Doctrine of Chances, Series: "Essays on Moral Development", Published in the Philosophical Transactions of "Royal Society of London", Volume Three, London, Re-Printed in "Pearson & Kendall and In-Press", 2003. – 49 pp. [In English] – URL:
9. https://royalsocietypublishing.org/doi/pdf/10.1098/rstl.1763.0053?keytype2=tf_ipsecsha&ijkey=d86e9f6c361806fb58be6aad56cb2bcfade22c74
10. Conan Doyle Arthur, Collected Works In Eight Volumes, Volume 7, Introductory Article by Mikhail Vasilievich Urnov and Dmitry Mikhailovich Urnov, Translated from English by Natalia Treneva and Viktor Khinkis, Moscow: "Pravda", 1966. – Pp. 9-10. [In Russian] – URL:
11. <https://readli.net/chitat-online/?b=265178&pg=100>
12. Reproduced from the Publication: Nikolai Nikolaevich Yakovlev, CIA Target - the USSR, Moscow, Publishing Group "Pravda", 1983. – Pp. 19-20. [In Russian] – URL: <https://studopedia.info/10-27816.html>
11. Bagrationi Irma, On the Risks of Ethical Decision-Making from the History of the Political Thought, The Journal "Cybernetics and Computer Technologies": "Philosophical Discussion", Issue 4, Kyiv: "V. M. Gluskov Institute of Cybernetics of National Academy of Sciences of Ukraine"- 2021. - Pp. 89-94. DOI: [10.34229/2707-451X.21.4.9](https://doi.org/10.34229/2707-451X.21.4.9)

14. Kissinger Alfred Henry, World Order, Reviewed by David A. Anderson, New-York: "Penguin Books", ISBN: 978-1594206146 – 2014 [September]. - Pp. 34-37. [In English] – URL:
15. <https://www.amazon.com/World-Order-Henry-Kissinger-ebook/dp/B00INIXVMK>
16. Bagrationi Irma, Vladimir Zaslavski, Ibraim Didmanidze, Olga Yamkova, Ethics of Information Technology in the Context of a Global Worldview, Proceedings of the V International Scientific Conference - "MCIT-2021", Rivne, Ukraine, **2021**. – Pp. 38-41. DOI: <https://doi.org/10.31713/MCIT.2021.10>,
17. URL: <https://mcitdoc.org.ua/index.php/ITConf/article/view/262/149>
18. Gehl Katherine M. & Porter Michael, the Politics Industry: How Political Innovation Can Break Partisan Gridlock and Save Our Democracy, Cambridge, MA, Published by "Harvard Business School", 2020 [June]. – P. 110. - DOI:[10.1111/gove.12587](https://doi.org/10.1111/gove.12587)

მედიის მომავალი: პროგნოზები, სარგებელი და პრეფერენციები

ირმა გაბინაშვილი

ბათუმის შოთა რუსთაველის სახელწიფო უნივერსიტეტი

irma.gabinashvili@bsu.edu.ge

რეზიუმე

წარმოდგენილი ნაშრომი აანალიზებს მედიის განვითარების დინამიკას ციფრულ ეპოქაში და ფოკუსირებულია მის პროგნოზირებად ევოლუციაზე, სარგებელსა და მომხმარებელთა ცვალებად პრეფერენციებზე. კვლევა გამოკვეთს ისეთი მოწინავე ტექნოლოგიების, როგორებიცაა ხელოვნური ინტელექტი (AI), ვირტუალური და გაფართოებული რეალობა (VR/AR) და ასევე, სოციალური მედიის პლატფორმების როლს თანამედროვე მედიაში. ნაშრომში, მედიათეორეტიკოსების და მკვლევრების მოსაზრებებზე დაყრდნობით სტრუქტურულად გაანალიზებულია მედიის კონტენტის წარმოების, მოხმარებისა და გავრცელების ტრანსფორმაცია, განსაკუთრებით იმ პირობებში, როდესაც ალგორითმებზე დაფუძნებული პლატფორმები შეუქცევად გავლენას ახდენს ინფორმაციის მიღებისა და გაზიარების კულტურაზე.

თეორიულ საფუძველად გამოყენებულია მედიისა და კომუნიკაციის კლასიკური მოდელები და თანამედროვე მიდგომები, მათ შორის, ჰაროლდ ლასუელის, უოლტერ ლიპმანის, ჯინ ფისკის, მარშალ მაკლუენისა და ჰენრი ჯენკინსის ნაშრომები, რომელთა საფუძველზეც შეფასებულია მედიის ევოლუციის პროცესი და მისგან მომდინარე ტენდენციების მიმართულებები. ძირითადი თემები მოიცავს ციფრული მედიის დომინაციას, პერსონალიზებული და პლატფორმებზე მორგებული კონტენტის გაძლიერებას, აგრეთვე, იმ ეთიკურ გამოწვევებს, რომლებიც პირდაპირ უკავშირდება დეზინფორმაციის საფრთხეებს და მონაცემების ალგორითმულ ჩარჩოებში მოქცევას.

დასკვნით ნაწილში ნაშრომი ასახავს იმ გარდაუვალ დათქმებს, რომლებიც როგორც მედიის მომხმარებლებისთვის, ასევე მწარმოებლებისთვის უნდა გახდეს მედიაპოლიტიკის წარმოების ერთიანი მიდგომის შემუშავების საფუძველი, ცხადია, გარკვეული კრიტერიუმების შემუშავების ფორმატში; ტექნოლოგიური ადაპტაციის უნარი და მაღალი ეთიკური სტანდარტების დაცვისთვის კონსოლიდირება კი ცვალებადი მედია გარემოს პირობებში, სანდოობაზე, გამჭვირვალობასა და იმ უმნიშვნელოვანეს შეთანხმებაზე იქნება დამოკიდებული, თუ რამდენად შეძლებს მედია ინოვაციური ტექნოლოგიური ინსტრუმენტების მეშვეობით წარსდგეს ახალი, უნივერსალური საინფორმაციო სამყაროს გამოწვევების წინაშე.

საკვანძო სიტყვები: ახალი მედია, საზოგადოება, კომუნიკაციები, ციფრული შესაძლებლობები

1. შესავალი.

XXI საუკუნის მედიის და ზოგადად, კომუნიკაციების მიზნები ისეთ დროს ფორმირდებიან, როდესაც ტექნოლოგიური ინოვაციები საფუძველიანად ცვლიან არა მხოლოდ კომუნიკაციის გზებს, არამედ საზოგადოების სტრუქტურებს და კულტურულ დინამიკასაც. ახალი მედია მოიცავს ციფრულ პლატფორმებსა და ინტერნეტს, რომლებიც უდიდეს გავლენას ახდენენ ინფორმაციის გავრცელების სიჩქარეზე, აუდიტორიის ჩართულობასა და საზოგადოებრივი დისკურსის ჩამოყალიბებაზე.

სტატია მიმოიხილავს თანამედროვე მედიის უწყვეტ გავლენას საზოგადოებაზე და ყურადღებას გაამახვილებს ისეთ თემებზე, როგორიცაა: ციფრული მედიის როლი ინფორმაციის გავრცელების პროცესში, აუდიტორიის ჩართულობის ფორმების ცვლილება და სოციალური მედიის გავლენა საზოგადოებრივ აზრსა თუ პოლიტიკურ დისკურსზე; განხილულია ასევე, მედიის მომავალი განვითარების შესაძლო სცენარები, რომლებიც დაკავშირებულია ტექნოლოგიურ ინოვაციებთან, ეთიკურ გამოწვევებსა თუ გლობალიზაციის პროცესებთან.

2. მედიის მომავლის ძირითადი ტრენდები.

მედიათეორეტიკოსების პროგნოზებზე დაყრდნობით, მედიასფეროს მომავალი გამორჩეული იქნება რამდენიმე მნიშვნელოვანი მიმართულებით, რომელთა შორისაც უპირველესად, ყურადღებას იპყრობს ციფრული დომინანტობა, რაც იმას გულისხმობს, რომ ონლაინ პლატფორმების როლი კიდევ უფრო მეტად გაძლიერდება და ციფრული მედია გახდება მთავარი წყარო ინფორმაციისა და კომუნიკაციისთვის; მედიასივრცეში შესაძლოა ფეხი მოიკიდოს სრულიად ახალმა მოდელებმა-ტრადიციული ჟურნალისტიკის პარალელურად გაჩნდება ახალი ფორმატები, რომლებიც უფრო მოქნილია და მორგებულია მომხმარებლის მოთხოვნებზე; რაც ყველაზე მეტად უკვე დღეს მოჩანს მედიის მომავლის ჰორიზონტებზე, ეს - ხელოვნური ინტელექტი და ავტომატიზაცია: AI კიდევ უფრო აქტიურად იქნება გამოყენებული არა მხოლოდ ინფორმაციის დამუშავებისთვის, არამედ რეალურ დროში რეპორტირებისა და მომხმარებელზე მორგებული კონტენტის შექმნისთვის; რაც შეეხება სოციალურ მედიას და სამოქალაქო ჟურნალისტიკას, უკვე დღეს მკაფიოდ იკვეთება ის ტენდენცია, რომ ინფორმაციის მომხმარებლები აღარ წარმოადგენენ მხოლოდ აუდიტორიას, ისინი აქტიურად მონაწილეობენ ინფორმაციის შექმნასა და გავრცელებაში; გამომდინარე აქედან, როდესაც ახალი მედიის დეფინიციაზე მიმდინარეობს სპეციალისტთა მსჯელობა, თამამად შეიძლება გამოვიყენოთ შემდეგი ფორმულირება: ტრადიციული მედია + ადამიანი = ახალ (ონლაინ) მედიას. შემოთავაზებულ ფორმულას, შესაძლოა, კონტექსტი და თეორიული საფუძველი მედიაკვლევებისა და კოგნიტური მეცნიერებების თანხვედრით, განსაკუთრებით კი იმ მიმართულებით მიეცეს, რომელიც ასახავს ტექნოლოგიების, მომხმარებლის აქტივობის და ტრადიციული მედიის კონვერგენციას. „მედიუმი არის გზავნილი“ - მაკლუენის ხედვით, მედიას არ განაპირობებს მხოლოდ ტექნოლოგია - არამედ ურთიერთქმედება ადამიანის ალქმასა და მედიაგარემოს შორის. მისი აზრით, მედიის ევოლუცია სწორედ ძველი და ახალი ფორმების შერწყმით ყალიბდება - რაც პირდაპირ ეხმიანება ჩვენ ფორმულას: „ჰიბრიდი ან ორი მედიის შეხვედრა არის სიმართლისა და გამოცხადების მომენტი, საიდანაც ახალი ფორმა იბადება“ (მაკლუენი, 1964).

ჰენრი ჯენკინსი ცხადად ამბობს, რომ ახალი მედია არის არა მხოლოდ ტექნოლოგიური გარდაქმნა, არამედ ადამიანის გააქტიურება მედიის პროცესში. ამგვარად, ტრადიციული მედიისა და ადამიანის (მომხმარებლის, ავტორის, აქტორის) სინთეზით იქმნება ახალი მედია კულტურა; „კონვერგენცია წარმოადგენს კულტურულ ცვლილებას, რადგან მომხმარებლებს ახალი ინფორმაციის მოძიებისა და გაფანტულ მედია კონტენტს შორის კავშირის დამყარებისკენ უბიძგებენ“ (ჯენკინსი, 2006). კონვერგენციის კულტურა ძველი და ახალი მედია ერთმანეთზე შეჯახებაა და როდესაც დევიდ ჰელსი და ვინოდ სინგჰალი ტერმინის „მედიაჰიბრიდულობა“ განმარტავენ, ხაზს უსვამენ იმას, რომ ახალი მედია, ანუ ინტერნეტზე დაფუძნებული ფორმები, სამომავლოდ, ძველის გადააზრებითა და ადამიანის აქტიური ჩართულობით ტრანსფორმირდება: „ახალი მედია ძველს არ ცვლის. პირიქით, ისინი მათ

ხელახლა აყალიბებენ და იყენებენ, ხშირად მომხმარებლის აქტიური მონაწილეობით“ (პელსი, სინგჰალი, 2007).

რაც შეეხება ახალი მედიის პოზიციონირებას სოციალური ცვლილებებისთვის, ანუ კომუნიკაცია განვითარებისთვის და გადაფორმატირებისთვის, ამ მიმართებით კლეი შირკი ხაზს უსვამს მედიის ახლებურად დემოკრატიზაციას: „ყოველ ჯერზე, როდესაც ამ მედია სივრცეს ახალი მომხმარებელი ემატება, ახალი პროდიუსერიც ემატება, რადგან იგივე აღჭურვილობა საშუალებას გაძლევთ, მოიხმაროთ და აწარმოოთ“ (შირკი, 2008). განხილული მაგალითებიდან კიდევ ერთხელ შეგვიძლია დავასკვნათ, რომ ჩვენ ფორმულას: ტრადიციული მედია + ადამიანი = ახალი (ონლაინ) მედია შეგვიძლია შემდეგი თეორიული ჩარჩოები მოვარგოთ: მედიასაშუალებების შერწყმით იბადება ახალი ფორმა (მაკლუენი), ტრადიციული და ახალი მედიის კონვერგენცია პლუს მომხმარებლის ჩართულობა (ჯენკინსი), მასობრივი თვითკომუნიკაცია (Mass Self-communication) როგორც ტრადიციულის + პიროვნულის შერწყმა (კასტელსი) მომხმარებელი - მწარმოებელი ერთდროულად - ანუ ადამიანი თავად ქმნის ახალ მედიას (შირკი)

მეორე, არანაკლებ საინტერესო ტენდენცია, რასაც ნაშრომში ვეხებით, არის - ინტერაქტიული და იმერსიული გამოცდილებები: ვირტუალური (VR) და გაფართოებული (AR) რეალობები ცვლიან ისტორიების გადმოცემის ფორმებს, რაც აუდიტორიის ჩართულობას და ინფორმაციის აღქმას აუმჯობესებს. ამ მიმართულების განსამტკიცებლად მედიურ დღის წესრიგში აქტიურდება ისეთი მნიშვნელოვანი თემები, როგორებიცაა: გლობალიზაცია და მრავალფეროვნება, როდესაც მედია გარემო ზრდის სხვადასხვა კულტურული და პოლიტიკური პერსპექტივების გამოჩენას, თუმცა ამავე დროს რთულ კონფლიქტებს და წინააღმდეგობებს იწვევს. ამ პროცესის პარალელურად აქტიურდება საუბრები ეთიკურ გამოწვევებზე, რადგან დეზინფორმაციის საფრთხე იწვევს იმედგაცრუებას მედიის მიმართ

3. კვლევის მთავარი კითხვები და ეთიკური ასპექტები.

მედიის ეთიკის სწავლება დღეს უკვე არ უნდა შემოიფარგლებოდეს ისეთი ტრადიციული პრინციპებით, როგორებიცაა ობიექტურობა და სიზუსტე (SPJ-ის ჟურნალისტური ეთიკის კოდექსი), არამედ უნდა ჩაატაროს ახალ გამოწვევებზე ორიენტირებული ანალიზი. ბოლო წლების კრიზისებმა მედიის ეთიკაში ისეთი ახალი თემები გაააქტიურა, როგორებიცაა:

1. მედიის ძალაუფლების და პოლიტიკური გავლენების პრობლემა;
2. ეთიკური გადაწყვეტილებების მიღების სირთულეები

ეს თემები განსაკუთრებით დომინანტურია ციფრულ ეპოქაში მოწყვლადი ჯგუფების ურთიერთქმედებასა და ახალი თაობის ჟურნალისტების ეთიკური გამოწვევებთან ციფრულ ეპოქაში. მედია ეთიკის თანამედროვე კრიზისს კი, რომელიც გამოწვეულია ტექნოლოგიური, სოციალური და პოლიტიკური კონტექსტების სწრაფი ცვლილებით, ბევრი კვლევის შედეგი და დასკვნები მოჰყვება. ტრადიციული მედია ეთიკა აღარ არის საკმარისი თანამედროვე ციფრული მედიასაშუალებების უსაფრთხოების და ნდობის შესანარჩუნებლად. მაგალითისათვის მოვიყვანო რამდენიმე მოსაზრებას ამ საკითხთან დაკავშირებით: მკვლევარი ზუბოვი თავის ნაშრომში „დაკვირვების კაპიტალიზმი“ (ზუბოვი, 2019) ამტკიცებს, რომ „დღევანდელ მედია გარემოში ეკონომიკური და პოლიტიკური ინტერესები აბათილებს ეთიკურ პრინციპებს, რაც აძლიერებს უნდობლობას“; ხოლო ტამბინი ხაზს უსვამს იმ რეალობას, რომ ეთიკური სტანდარტები ჩამორჩება ტექნოლოგიურ განვითარებას, განსაკუთრებით კი ალგორითმული შინაარსის პირობებში: „მარეგულირებელი და ეთიკური ჩარჩოები ჩამორჩება ალგორითმული

კონტენტის მიწოდების სიჩქარესა და სირთულეს, რაც მედიის მმართველობაში მნიშვნელოვან ხარვეზებს იწვევს“ (ტამბინი, 2021); ესის აზრით კი, ეთიკა უნდა გახდეს მრავალგანზომილებიანი და პოლიტიკური კონტექსტებისადმი მგრძნობიარე, რაც სრულად ემთხვევა ჩვენს მოსაზრებას: „მედიის ეთიკა უნდა გახდეს ინტერკულტურული და ინტერდისციპლინური, რათა ასახოს პლურალისტური და ხშირად სადავო ციფრული საჯარო სფერო.“

კვლევის შედეგები გვიჩვენებს, რომ მედია ეთიკა ვერ უზრუნველყოფს სრულ უსაფრთხოებას და ნდობას თანამედროვე მედია გარემოში, რადგან მას სჭირდება მეტად მოქნილი, მრავალგანზომილებიანი და პოლიტიკური ნიუანსების გათვალისწინების უნარების დივერსიფიცირება. ტრადიციული მედიის ეთიკა ვერ ასრულებს საკმარის ფუნქციას ციფრულ, მრავალპლატფორმიან და პოლიტიკურად პოლარიზებულ მედიაგარემოში ნდობისა და უსაფრთხოების უზრუნველსაყოფად. ზუბოვი (2019) მიუთითებს, რომ ციფრული მედია ოპერირებს ისეთ ეკონომიკურ მოდელზე, მეთვალყურეობის კაპიტალიზმზე, რომელიც წინააღმდეგობაში მოდის ჟურნალისტიკის კლასიკურ ეთიკურ პრინციპებთან და ქმნის ნდობის ვაკუუმს. უორდის (2018) თანახმად, მედიაეთიკა საჭიროებს ფუნდამენტურ განახლებას, რადგან არსებული კოდექსები ვერ პასუხობს ტექნოლოგიური ცვლილებებისა და ღირებულებითად მრავალფეროვანი აუდიტორიის გამოწვევებს; ტამბინი (2021) კი ამტკიცებს, რომ რეგულაციები და ეთიკური ჩარჩოები ჩამორჩება ალგორითმებზე დაფუძნებული შინაარსის გავრცელების სისწრაფესა და სირთულეს, რაც იწვევს მართვის დეფიციტს. ამ ფონზე, ეს (Ess, 2020) მოითხოვს ეთიკური მიდგომების დივერსიფიცირებას, რათა ისინი გახდნენ უფრო მოქნილი, ინტერდისციპლინური და პოლიტიკურ კონტექსტებზე მგრძნობიარე - ეს ყველაფერი მიუთითებს იმაზე, რომ მედიაეთიკის განვითარება უნდა იყოს არა სტატიკური ნორმების შენარჩუნება, არამედ აქტიური ადაპტაცია ცვალებადი ციფრული და კულტურულ-პოლიტიკური რეალობების მიმართ.

4. მედიის მომავლის ტექნოლოგიური და საზოგადოებრივი ტრანსფორმაციები.

ტექნოლოგიების განვითარება პირად მონაცემთა დაცვასა და ახალი ტიპის ცენზურის რისკებთან დაკავშირებით ინფორმაციაზე წვდომის არათანაბარ პირობებთან მორგებულ შეკითხვებს იწვევს. მომავლის მედია ვითარდება ტექნოლოგიური და სოციალური ფაქტორების თანხვედრით, რაც მის ხასიათს რადიკალურად ცვლის. იგი გახდება უფრო ინტერაქტიული, პერსონალიზებული და მჭიდროდ დაკავშირებული ხელოვნური ინტელექტის (AI), ვირტუალური რეალობის (VR) და სტრიმინგ პლატფორმების ინტეგრაციასთან (Jenkins, 2006; Abiri, 2025). ეს ტრანსფორმაციები იწვევს შემდეგ შედეგებს:

1. კონტენტის პერსონალიზაცია - ალგორითმები ირჩევენ შინაარსს ინდივიდუალური ინტერესების მიხედვით, რაც აძლიერებს ჩართულობას, მაგრამ ზრდის ე.წ. „ინფორმაციულ ბუშტებს“ (Pariser, 2011)
2. ინტერაქტიული ფორმატების გავრცელება - VR და მულტიმედია მედია ქმნის მომხმარებლის გამოცდილების ახალ ფორმებს, რომლებიც აუდიტორიას აქცევს აქტიურ მონაწილედ და არა მხოლოდ მიმღებად (Sundar, 2020);
3. AI-ს მიერ მართული შინაარსი - გენერატიული AI პლატფორმები, როგორიცაა ChatGPT და DALL-E, ცვლიან შინაარსის შექმნის ბუნებას, აჩქარებენ პროდუქტიულობას, მაგრამ წარმოშობენ ეთიკურ და სანდოობის საკითხებს (Zuboff, 2019; Abiri, 2025);
4. საზოგადოებრივი ჩართულობის ახალი მოდელები - ციფრული მედია განავითარებს მონაწილეობის კულტურას, სადაც აუდიტორია ქმნის, აზიარებს და აფასებს შინაარსს, რაც

ბუნდოვანს ხდის მომხმარებელსა და მწარმოებელს შორის დაწესებულ საზღვრებს (Jenkins, 2006).

ცხადია, ამ პროცესში მედია აღარ იქნება მხოლოდ ინფორმაციის გადამცემი - იგი გარდაიქმნება ისეთ ინტერაქციულ სივრცედ, რომელიც ცვლის საზოგადოებრივ ურთიერთობებს, ნარატივების წარმოქმნას და საბოლოოდ, მრავალმხრივ და გამჭვირვალე ჩართულობას.

5. მედიის ტექნოლოგიური ტრანსფორმაცია: გლობალური ტენდენციები და ქართული კონტექსტი

ხელოვნური ინტელექტი, ვირტუალური რეალობა და ალგორითმული შინაარსის მიწოდება ცვლის მედიის წარმოების, მოხმარებისა და ნდობის ჩარჩოებს (Jenkins, 2006; Abiri, 2025). ქართულ რეალობაში ეს ტენდენციები ჯერ კიდევ საწყის ეტაპზეა, თუმცა დარჩილაშვილის (2025) კვლევა აჩვენებს, რომ ჟურნალისტებს უკვე აქვთ ეთიკური გაურკვევლობები AI-ის გამოყენებასთან დაკავშირებით, ხოლო ACT-ის მონაცემებით (2024) საზოგადოების დიდ ნაწილს აქვს ნდობის პრობლემა ციფრული ტექნოლოგიების მიმართ. ამავდროულად, კინწურაშვილის (2013) პრაქტიკული ანალიზი ადასტურებს, რომ ტრადიციული ეთიკური სტანდარტები ხშირად ვერ ეწინააღმდეგება ახალი მედია რეალობის გამოწვევებს. შესაბამისად, როგორც გლობალურ, ისე ქართულ კონტექსტში მედიის ტექნოლოგიური ტრანსფორმაცია საჭიროებს ეთიკური ჩარჩოების გადახედვას, მომხმარებელზე მორგებული მიდგომების განვითარებასა და ციფრულად კრიტიკული საზოგადოებრივი ცნობიერების გაძლიერებას:

1. ეთიკური გაურკვევლობა- ჟურნალისტების უმრავლესობას არ აქვს ზუსტი სტანდარტი ან წვდომა AI-ის ეთიკურ გამოყენებაზე;
2. ნდობის დეფიციტი -რესპონდენტთა ნაწილს მიაჩნია, რომ AI-ს მიერ გენერირებული კონტენტი ნაკლებად სანდოა;
3. სასწავლო/ტრენინგების ნაკლებობა სერიოზულად გამოკვეთილია AI-ის თემაზე პროფესიული განათლების დეფიციტი;
4. დეზინფორმაციის გავრცელების რისკი -ჟურნალისტები შიშობენ, რომ AI შეიძლება გამოიყენონ ფეიქ-ნიუსის შესაქმნელად
5. რეგულაციების გარდაუვალი საჭიროება - გამოკვეთილად ჩნდება სახელმწიფოსა და მედია ასოციაციების მხრიდან ჩარევის საჭიროება

კომპონენტი	პრობლემა	მოთხოვნილი ქმედება
ეთიკა	არ არსებობს სტანდარტიზებული წესები	ეთიკური კოდექსის განახლება
განათლება	ჟურნალისტებს სჭირდებათ მეტი ცოდნა AI-ზე	სპეციალიზებული ტრენინგები
რეგულაცია	სამართლებრივი ჩარჩო ბუნდოვანია	ახალი რეგულაციების ინიცირება
სანდოობა	სკეპტიციზმი საზოგადოებაში მზარდია	გამჭვირვალე შინაარსის წარმოება

6. მთავარი ანალიზი და დისკუსია.

მედია ტექსტები ხშირად გამოიყენება როგორც შინაარსის განმტკიცების საშუალება. ტექსტის სათაური, როგორც ძირითადი ორგანიზატორი, ქმნის დასაბუთებულ, სემანტიკურად და კომპოზიციურად სტრუქტურირებულ კონტენტს, რაც მკითხველს უზრუნველყოფს ავტორის შეფასებას სიმბოლოებისა და მეტაფორების მეშვეობით. მაგრამ აქვე იჩენს თავს სერიოზული

პრობლემა - ნდობის კრიზისი, რადგან პოლიტიკურ სივრცეებში მედია არეულობები და მკერძოებები საკმაოდ ხშირი და გავრცელებული მოცემულობებია. მემარცხენე და ცენტრისტული მედიების დაყოფა, მკვეთრად გამოხატული პოზიციები და პასუხისმგებლობებისგან დაცლილი ეთიკური სტანდარტები ხშირად ქმნის პრობლემებს ახალი ამბების სანდოობის თვალსაზრისით.

ამ ფონზე ჩნდება კითხვები: შესაძლებელია თუ არა ტრადიციული ჟურნალისტური ეთიკის ხერხების გამოყენება ან მათ კოდექსებზე დაყრდნობა ნდობის განმტკიცებად და როგორ უნდა მოემზადონ ჟურნალისტები ციფრული სივრცეების გამოწვევების, დისკრიმინირებების გამოვლენების, ბრალდებების წინააღმდეგ მედეგობის განსამტკიცებლად.

7. პერსონალიზაცია და მომხმარებლის კონტროლი.

თანამედროვე მედია პლატფორმებში დამკვიდრებული ტერმინი-საინფორმაციო ბუშტი-ქმნის იმ მოცემულობის ეფექტს, სადაც ადამიანი ხედავს მხოლოდ მასთვის სასურველ ინფორმაციას და გამორიცხავს სხვა პერსპექტივებს. მაგალითად, Google - ის ძიების შედეგები და სოციალური მედიის ფიდები ინდივიდუალურად იქმნება და სხვადასხვანაირად არის მორგებული თითოეულ მომხმარებელზე. ასეთი პერსონალიზაცია ზღუდავს მრავალფეროვნებას და იწვევს ინფორმაციის ე.წ. “ფასტფუდიზაციას”, როდესაც მიიღება ზედაპირული და შინაარსობრივად ნაკლებად ღირებული ინფორმაცია. ალგორითმული პლატფორმები, როგორიცაა Google, Facebook, TikTok და სხვა, მიკრო-სიგნალების მეშვეობით ახდენენ შინაარსის დიფერენცირებულ მიწოდებას, რაც ხშირად შეუმჩნეველია მომხმარებლისთვის, მაგრამ არსებითად ცვლის მის საინფორმაციო რეალობას. როგორც ერიკ შმიდტი აღნიშნავს, უახლოეს მომავალში ადამიანისთვის თითქმის შეუძლებელი იქნება ისეთი შინაარსის მიღება, რომელიც გარკვეულწილად მორგებული არ არის მის პროფილზე. ეს ტენდენცია ბადებს ახალ ეთიკურ დილემებს: თუ წარსულში მედიის ფილტრები რედაქტორების მეშვეობით მიმდინარეობდა, ახლა მათ ადგილს იკავებენ ალგორითმები, რომლებიც არ ფლობენ საზოგადოებრივი პასუხისმგებლობის იმ ნორმებს, რაც ტრადიციული ჟურნალისტიკის ფუნდამენტი იყო. შედეგად, მედია აუდიტორიას აწვდის არა იმ ინფორმაციას, რაც სჭირდება, არამედ იმას, რასაც სავარაუდოდ მოითხოვს. ეს კი იწვევს ციფრული საზოგადოებების ფრაგმენტაციას, პოლარიზაციას და დემოკრატიული პროცესების რღვევას. როგორც მაკლუენი მიუთითებს, გაზეთი და წიგნი ერთდროულად წარმოადგენს კოლექტიური აღსარების ფორმას, რომელიც არამარტო ინფორმაციის გამავრცელებელია, არამედ საზოგადოების შინაგანი დინამიკის გამოხატულებაც. თუმცა, როდესაც ფილტრი ხდება კოდი და არა ადამიანი, საჭიროა ახალი ეთიკური არქიტექტურა, რომელიც გაითვალისწინებს ციფრულ რეალობაში მოქმედების წესებს.

8. გამოწვევები და რეკომენდაციები.

1. **პერსონალიზაციის დაბალანსება:** საჭიროა ალგორითმების ისეთი როლის უზრუნველყოფა, რომელიც არა მხოლოდ მომხმარებლის გემოვნებაზე დაფუძნებით ირჩევს ინფორმაციას, არამედ აჩვენებს კრიტიკულ, განსხვავებულ და საჭირო თემებსაც;

2. **ეთიკის კოდექსის ადაპტირება თანამედროვე გამოწვევების კონტექსტში:** ახალი ალგორითმები უნდა ექვემდებარებოდეს ეთიკურ ნორმებს, რომლებიც ხელს შეუწყობს საზოგადოების ინფორმირების ხარისხსა და ჯანსაღ დისკურსს;

3. მომხმარებლის მიერ მედიაგარემოს მეტი კონტროლი: აუცილებელია იმ პლატფორმების განვითარება, სადაც მომხმარებელს ექნება შესაძლებლობა თავად განსაზღვროს მიღებული ინფორმაციის ფორმატი და შინაარსი;

4. მოსაზრებათა მრავალფეროვნება და დემოკრატია: მედიამ უნდა უზრუნველყოს არამარტო კონსენსუსი, არამედ განსხვავებული აზრების გამოხატვის საშუალება, რაც დემოკრატიული საზოგადოების ერთ-ერთი მთავარი საყრდენი უნდა იყოს.

9. დასკვნა.

მედიის მომავალი განსაზღვრული იქნება ინტერნეტექტიურობისკიდევ უფრო მეტად ზრდით, პერსონალიზაციის გაძლიერებითა და ისეთი ტექნოლოგიების ინტეგრაციით, როგორებიცაა ხელოვნური ინტელექტი (AI), ვირტუალური რეალობა (VR) და სტრიმინგ პლატფორმები. ამ პროცესმა შეიძლება მედიაწარმოება გახადოს უფრო ხელმისაწვდომი, ინტერაქტიული და ეკონომიურად ეფექტიანი როგორც შემქმნელებისთვის, ისე მომხმარებლებისთვის. პარალელურად, მომხმარებელთა პრეფერენციები განსაზღვრავენ შინაარსის მიწოდების ფორმებს, გამოკვეთილი აქცენტით მოხერხებულობაზე, ინდივიდუალურ მორგებაზე და ეთიკურად გამოყენებაზე. ახალი მედია უახლოეს მომავალში მოიპოვებს უნიკალურ შესაძლებლობას, მოითხოვოს რეპორტაჟების შექმნის სტრატეგიების განახლება, მიაღწიოს სანდოობას და მოერიდოს ცინიკურ, უხეშ ნარატივებს, რომლებიც ხშირად ჩნდება ტრადიციულ მედიაში. ჰენრი ჯენკინსის მოსაზრებით, მედიის მომავალი იქნება მონაწილეობრივ კულტურაზე დაფუძნებული, სადაც აუდიტორია აღარ იქნება პასიური მომხმარებელი, არამედ აქტიური შემოქმედი და ინფორმაციის ცირკულირების თანაავტორი (Jenkins, 2006). ამავდროულად, ობიექტურობის ტრადიციული წესი ხშირად ფარავს იმ ღირებულებებსა და მიკერძოებებს, რომლებიც რეალურად განაპირობებს სარეპორტაჟო შინაარსს. დეზინფორმაციის გამოწვევა, რომელიც განსხვავდება პოლარიზაციისა და უნდობლობის პრობლემებისგან, მეტ ყურადღებას მოითხოვს. ტრადიციული ჟურნალისტიკა, თავისთავად, ემყარება სანდო და გადამოწმებულ წყაროებს, თუმცა ციფრულ სივრცეში ეს სტანდარტი ეჯახება მომხმარებელთა აქტიურობასა და შინაარსის თვითშემოქმედებას.

კლეი შირკის პროგნოზით, მედიის მომავალს განსაზღვრავს მომხმარებლების კოლექტიური ინტელექტუალური რესურსი, ე.წ. „კოგნიტური გადაჭარბება“, რაც ინტერნეტის პირობებში საშუალებას იძლევა დრო და ძალისხმევა მიმართული იყოს შინაარსის შექმნასა და გავრცელებაზე, რითაც ტრადიციული მედია დათმობს პოზიციებს (Shirky, 2010); დევიდ გონტლეტი კი მედიის დემოკრატიზაციაზე ამახვილებს ყურადღებას და ამტკიცებს, რომ შინაარსის შექმნა ვეღარ შემოიფარგლება მხოლოდ პროფესიული სტუდიებით. მომხმარებლებს შეეძლება თვითონვე აწარმოონ და გაავრცელონ მედიაპროდუქცია, რაც საფუძვლიანად შეცვლის აუდიტორიის ქცევას და მედიასთან ურთიერთობის წესებს (Gauntlett, 2011). ამ და სხვა ცალკეულ ავტორთა მიერ წარმოდგენილი ხედვები გვთავაზობს მედიის განვითარების მრავალფეროვან თეორიულ პერსპექტივას ტექნოლოგიური, სოციალურ-კულტურული და კოგნიტური ასპექტების ჭრილში. გამომდინარე აედან, ამ ანალიზის საფუძველზე რეკომენდირებულია:

- ✓ ალგორითმული პლატფორმების გამჭვირვალობის გაზრდა და მათი პასუხისმგებლობის ინსტიტუციონალიზაცია;
- ✓ მედია წიგნიერების პროგრამების განვითარება, რათა მომხმარებლებმა უკეთ განსაზღვრონ სანდო და მანიპულაციური შინაარსების განსხვავებები

- ✓ **ჟურნალისტური ეთიკის გაფართოება**, რაც მოიცავს ციფრული ეპოქისთვის ადაპტირებულ პრინციპებს;
- ✓ **მონაწილეობრივი კულტურის წახალისება**, რაც ახალ შესაძლებლობებს აძლევს მომხმარებლებს, გახდნენ მედიის თანაშემწემნელები.

XXI საუკუნის მედია არის დინამიკური და მრავლისმომცველი სივრცე, სადაც ტექნოლოგიური ინოვაციები და ადამიანების ყოფითი რეალობის გამოწვევები მჭიდრო ურთიერთკავშირშია. მედია მომავალში არა მხოლოდ ინფორმაციის გამავრცელებელი, არამედ ახალი ღირებულებების და სოციალური პასუხისმგებლობის არეალი გახდება და აქედან გამომდინარე, აუცილებელი ხდება საზოგადოებრივი თანხმობა, რათა მედია გარემო იყოს არა მხოლოდ ინოვაციური, არამედ ეთიკური, მდგრადი და განვითარებადი, მით უფრო მაშინ, როდესაც მედიაგარემოს ფიზიკური, ვირტუალური და კოგნიტური განზომილებები დღითიდღე უფრო მეტად ამოკლებენ გზას წარმოსახვითი რეალობიდან ობიექტურ რეალობამდე.

გამოყენებული ლიტერატურა:

1. დარჩილაშვილი, დ. 2025; AI და ეთიკა ქართულ ჟურნალისტიკაში;
2. ესი, ს. 2020; ციფრული მედიის ეთიკა (მე-2 გამოცემა), Polity Press;
3. თამბინი, დ. (Tambini, 2021) მედიის თავისუფლება და რეგულაცია ციფრულ ეპოქაში. Oxford University Press;
4. კასტელსი, მ. (Castells, M.). (2009) კომუნიკაციის ძალა. Oxford University Press;
5. მაკლუენი, მ. (McLuhan, M.). (1964) მედიის გაგება: ადამიანის გაფართოებები. MIT Press;
6. პარიზერი, ე. (Pariser, E.). (2011) ფილტრის ბუშტი: რას გვიმაღავს ინტერნეტი. Penguin Press;
7. ჯენკინსი, ჰ. (Jenkins, H.). (2006) კონვერგენციული კულტურა: ძველი და ახალი მედიის შეჯახება. NYU Press;
8. ჰელსი, დ., & სინგალი, ა. (Helsey, D., & Singhal, A.) (2007). ახალი მედია სოციალური ცვლილებებისთვის. კრებულში: Communication for Development and Social Change.

The Future of Media: Predictions, Benefits and Preferences

Irma Gabinashvili

Batumi Shota Rustaveli State University

irma.gabinashvili@bsu.edu.ge

Abstract

This paper examines the future of media by exploring key forecasts concerning its evolution, benefits, and user preferences in the digital age. It focuses on the transformative influence of emerging technologies such as Artificial Intelligence (AI), Virtual and Augmented Reality (VR/AR), and social media platforms on media production, consumption, and ethical practices. Through an interdisciplinary approach grounded in both classical and contemporary media theories—drawing on the works of scholars such as Harold Lasswell, Walter Lippmann, Marshall McLuhan, and Henry Jenkins—the study investigates the shifting dynamics of the media landscape over recent decades and offers insights into future trajectories and challenges.

Key themes include the dominance of digital media, the rise of personalized and algorithm-driven content, and the ethical dilemmas arising from misinformation, data manipulation, and automated content distribution. The analysis highlights how algorithmic curation increasingly shapes audience behavior and access to information, raising concerns about transparency, accountability, and the erosion of public trust.

The findings suggest that as media continues to evolve, both producers and consumers must adapt to rapidly changing technological and communicative paradigms by embracing media literacy, ethical awareness, and a commitment to transparency. The future of media will be defined not only by technological innovation but also by the extent to which it reinforces democratic values, fosters informed civic engagement, and upholds ethical standards in an increasingly complex digital ecosystem.

Keywords: New Media , Society, Digital Communications

„ამირანდარეჯანიანის“ ჰიპერბოლიზაცია შუასაუკუნეობრივი აზროვნების კონტექსტში

თინათინ ლეკიაშვილი

ივანე ჯავახიშვილის სახელობის თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტის ქართული
ლიტერატურის ისტორიის პროგრამის დოქტორანტი

lekiashvilit@yahoo.com

რეზიუმე

შუასაუკუნეების ლიტერატურაში ერთ-ერთი მნიშვნელოვანი საკითხია სასწაული და სასწაულებრივი მოვლენა. ჰაგიოგრაფიულ ნაწარმოებებში მრავლადაა სასწაულის მაგალითები, რომლებიც უფლის ძალით ხორციელდება. ამ მაგალითებს უდიდესი დატვირთვა აქვს. ჰაგიოგრაფიის პერსონაჟების წმინდანობა, რაც მათ მიერ აღსრულებული სასწაულებით არის განმტკიცებული, შუასაუკუნეების მკითხველისთვის ისეთივე ჭეშმარიტი და რეალურია, როგორც თავად ჰაგიოგრაფიული ტექსტი, ვინაიდან მკითხველმა იცის, რომ ყოველი ჰაგიოგრაფი ჭეშმარიტების აღწერის პრინციპით მოქმედებს და, შესაბამისად, ეჭვგარეშა რაიმე გამოგონილი ან შეთხზული იყოს.

შუასაუკუნეების სასულიერო ლიტერატურის ნიადაგზე განვითარდა საერო მწერლობა. ამ საკითხს ვრცელ მიმოხილვას უძღვნის კორნელი კეკელიძე გამოკვლევაში „წმინდა მხედარი“, აღნიშნავს, რომ საერო ლიტერატურის ჩამოყალიბების პროცესში ერთ-ერთ მნიშვნელოვან როლს თამაშობდა წინა პერიოდის სასულიერო მწერლობა, რომელიც მეთერთმეტე საუკუნემდე ბატონობდა.

როგორც ზემოთაც აღვნიშნეთ, შუასაუკუნეების სასულიერო მწერლობისთვის ნიშანდობლივი მრავალი ელემენტი საერო მწერლობაშიც გვხვდება. აგიოგრაფიული ძეგლებისათვის დამახასიათებელი სასწაული თავისი ფორმითა და შინაარსით ნაკლებად შეინიშნება საერო მწერლობის ნიმუშებში, მაგრამ ზეპუნებრივის რეალურად მიჩნევის შუასაუკუნეობრივი ხედავ უდევს საფუძვლად საერო ლიტერატურის შეუძლებელი გმირობის - ჰიპერბოლური ქმედების - მოაზრებას ავტორის მიერ და, შესაბამისად, მკითხველის მიერ მიღებას. ვფიქრობთ, საერო მწერლობაში ჩანს შუასაუკუნეების აზროვნების ერთიანი სტრუქტურა, კერძოდ, აგიოგრაფიული მწერლობისთვის დამახასიათებელი სასწაულის მოდელის თავისებური ტრანსფორმირება, რაც, ძირითადად, გამოხატულია საერო ნაწარმოების პერსონაჟთა გმირული მოქმედებების ჰიპერბოლიზაციით.

სტატია ამ კუთხით განვიხილავთ მოსე ხონელის „ამირანდარეჯანიანის“. „ამირანდარეჯანიანი“ უხვად შეიცავს გასაოცარ და ფანტასტიკურ ამბებს, შეუძლებელ გმირობებს, რაც თანამედროვე მკითხველისათვის ზღაპრულად და არარეალურად აღიქმება, მაგრამ სრულიად ბუნებრივია იმ პერიოდის, შუასაუკუნეების მკითხველისათვის, ვინაიდან ის ტრადიციით მიჩვეულია სასწაულს, ჰაგიოგრაფიული ტექსტების სასწაულებრივი მოვლენები ჭეშმარიტი და უტყუარი ფაქტია მისთვის. შესაბამისად, სასულიერო მწერლობის საფუძველზე აღმოცენებული საერო ლიტერატურული ძეგლების გასაოცარი, ჰიპერბოლიზებული გმირობანი უცხო აღარ არის შუასაუკუნეების მკითხველისათვის, მეტიც, მისთვის ისეთივე ჭეშმარიტია, როგორც სასულიერო მწერლობის სასწაული.

საკვანძო სიტყვები: შუასაუკუნეები; ჰაგიოგრაფია; საერო მწერლობა; სასწაული; გასაოცარი

1. შესავალი

შუასაუკუნეების ლიტერატურაში ერთ-ერთი მნიშვნელოვანი საკითხია სასწაული და სასწაულებრივი მოვლენა. ჰაგიოგრაფიულ ნაწარმოებებში მრავლადაა სასწაულის მაგალითები, რომლებიც უფლის ძალით ხორციელდება. ამ მაგალითებს უდიდესი დატვირთვა აქვს. ჰაგიოგრაფიის პერსონაჟების წმინდანობა, რაც მათ მიერ აღსრულებული სასწაულებით არის განმტკიცებული, შუასაუკუნეების მკითხველისთვის ისეთივე ჭეშმარიტი და რეალურია, როგორც თავად ჰაგიოგრაფიული ტექსტი, ვინაიდან მკითხველმა იცის, რომ ყოველი ჰაგიოგრაფი ჭეშმარიტების აღწერის პრინციპით მოქმედებს და, შესაბამისად, ეჭვგარეშეა რაიმე გამოგონილი ან შეთხზული იყოს.

შუასაუკუნეების სასულიერო ლიტერატურის ნიადაგზე განვითარდა საერო მწერლობა. ამ საკითხს ვრცელ მიმოხილვას უძღვნის კორნელი კეკელიძე: „ჩვენში ძველიდანვე, საეკლესიო მწერლობის ბატონობის ხანიდანვე და თვით ამ მწერლობის წიაღში, ისახებოდა ელემენტები და მზადდებოდა ტრადიციები საერო მხატვრული ლიტერატურისა“ (კეკელიძე 1981: 8). კორნელი კეკელიძე თავის გამოკვლევაში „წმინდა მხედარი“ აღნიშნავს, რომ საერო ლიტერატურის ჩამოყალიბების პროცესში ერთ-ერთ მნიშვნელოვან როლს თამაშობდა წინა პერიოდის სასულიერო მწერლობა, რომელიც მეთერთმეტე საუკუნემდე ბატონობდა. „ეს როლი იყო, ერთი მხრით, ფორმალური ხასიათისა: საერო მწერლობამ სასულიეროსაგან დაიმკვიდრა სავსებით დამუშავებული ლიტერატურული ენა, მან გაიმეორა მისი მთავარი ჟანრები (ეპოსი, ლირიკა) და კომპოზიციური ხერხები; მეორე მხრით - შინაარსობრივი: სატრფიალო-სამიჯნურო და სადევ-გმირო მოტივები, რომელნიც წარმოდგენილი არიან კლასიკური პერიოდის საერო ლიტერატურაში, უკანასკნელმა, ელემენტების სახით, ჰაგიოგრაფიული და აპოკრიფული ბელეტრისტიკიდანაც მიიღო (კეკელიძე 1945: 3).

როგორც ზემოთაც აღვნიშნეთ, შუასაუკუნეების სასულიერო მწერლობისთვის ნიშანდობლივი მრავალი ელემენტი საერო მწერლობაშიც გვხვდება. აგიოგრაფიული ძეგლებისათვის დამახასიათებელი სასწაული თავისი ფორმითა და შინაარსით ნაკლებად შეინიშნება საერო მწერლობის ნიმუშებში, მაგრამ ზეზუნებრივის რეალურად მიჩნევის შუასაუკუნეობრივი ხედვა უდევს საფუძვლად საერო ლიტერატურის შეუძლებელი გმირობის - ჰიპერბოლური ქმედების - მოაზრებას ავტორის მიერ და, შესაბამისად, მკითხველის მიერ მიღებას. ვფიქრობთ, საერო მწერლობაში ჩანს შუასაუკუნეების აზროვნების ერთიანი სტრუქტურა, კერძოდ, აგიოგრაფიული მწერლობისთვის დამახასიათებელი სასწაულის მოდელის თავისებური ტრანსფორმირება, რაც, ძირითადად, გამოხატულია საერო ნაწარმოების პერსონაჟთა გმირული მოქმედებების ჰიპერბოლიზაციით (თ. ლეკიაშვილი 2020, სპეცალი).

წინამდებარე სტატია სწორედ ამ საკითხს ეძღვნება, ჩვენი თვალსაზრისის დასასაბუთებლად განვიხილავთ მოსე ხონელის „ამირანდარეჯანიანს“.

„ამირანდარეჯანიანი“ საფალავნო-სათავგადასავლო მოთხრობათა კრებულია, იგი ქმნის ადამიანის ახალ მოდელს. ესაა უმაღლესი ფიზიკური და სულიერი თვისებებით შემკული ადამიანი, რომლის მოქმედების არე უკიდევანოა. იგი დგას მეფისა და ქვეყნის სამსახურში და გარე სინამდვილესთან მრავალმხრივ კავშირს ამყარებს. ესაა ადამიანის რენესანსული მოდელის პირველსახე (გრიგოლაშვილი 1987: 544).

აქვე გვინდა ხაზი გავუსვათ იმ საკითხს, რომ ნებისმიერი ნაწარმოების განხილვა და გააზრება მნიშვნელოვანია იმ ეპოქის მსოფლმხედველობის გათვალისწინებით, რომელშიც

შეიქმნა ესა თუ ის ტექსტი. „ამირანდარეჯანიანი“ გვიანდელი შუასაუკუნეების პირველი საერო ნაწარმოებია, რომელიც ქართულ მწერლობაში ამკვიდრებს მხატვრული გამონაგონის მეთოდს (გრიგოლაშვილი 1987: 544). მთელი სიუჟეტი ემყარება ჰიპერბოლიზებას, როგორც მხატვრული გამოსახვის საშუალებას, მაგრამ აქვე არ უნდა დაგვავიწყდეს, რომ შუასაუკუნეების მკითხველისათვის ეს არ არის ჰიპერბოლიზება. იმ ეპოქის ადამიანისთვის ტრადიციით მისაღებია სასწაულებრივი ქმედება, ამიტომ მისთვის არ არის გასაკვირი ამირანისა და მისი მეგობრების საოცარი, შეუძლებელი გმირობანი, ის ოდნავადაც არ ფიქრობს ამაზე, საკითხსაც კი არ სვამს.

შუასაუკუნეების აზროვნების დასახასიათებლად ცნობილი ფრანგი მედიევისტი ჟაკ ლე გოფი წერს, რომ შუასაუკუნეების ქრისტიანობის მთავარი ფიგურა იყო ღმერთი. შუა საუკუნეების კაცს უნდა გაეკეთებინა არჩევანი ღმერთსა და ეშმაკს, სამოთხესა და ჯოჯოხეთს შორის - რა თქმა უნდა წარმოსახვითი არჩევანი, მაგრამ მაინც ძალიან რეალური იმ დროის ადამიანისთვის (ჟაკ ლე გოფი 1988: 15). ხოლო რუსი მედიევისტი აარონ გურევიჩი წერს, რომ შუასაუკუნეების ნაწარმოების განხილვისას არ უნდა დაგვავიწყდეს, რომ ამ ეპოქაში დიდი ხნის განმავლობაში არ არსებობდა განსხვავება წარმოსახვითსა და რეალურს შორის. ამ ეპოქის პოეტებისა და მწერლების მონათხრობი მათი მკითხველისათვის იყო ჭეშმარიტი ფაქტი. მკვეთრად არ იყო გამოიჯნული პოეზია და ჭეშმარიტება. ისევე, როგორც არ იყო გამოიჯნული სასულიერო მწერლობა ჩვეულებრივისაგან (გურევიჩი აარონ: 1985: 38)

ვფიქრობ, საინტერესოა, ის ფაქტი, რომ შუასაუკუნეების მსოფლმხედველობაზე საუბრისას ჟაკ ლე გოფი ერთმანეთისაგან მიჯნავს ორ ცნებას: “Marvelous” და “Miracle” შორის. პირველი ნიშნავს საოცარს, გასაოცარს, უჩვეულოს. მეორე კი - სასწაულებრივს. ლე გოფი ამბობს, რომ Marvelous არის ის, რაც უჩვეულო და გასაოცარია, მაგრამ არ არის აუცილებელი ღვთიური წარმოშობის იყოს. ეს შეიძლება იყოს ზღაპრული, მისტიკური ან უბრალოდ რეალობისგან განსხვავებული რამ. ხოლო სასწაული არის ის, რაც ღვთის ძალით ხდება (ჟაკ ლე გოფი 1988: 30).

ცხრილის სახით უკეთ დავინახავთ ამ ორი ცნების განსხვავებას.

Marvelous (საოცრება)	Miracle (სასწაული)
შეიძლება იყოს მაგიური, არაჩვეულებრივი, მაგრამ არა ღვთიური.	დაკავშირებულია ღვთის ძალასთან.
გვხვდება საერო ლიტერატურაში, ეპოსებში, ზღაპრებში	გვხვდება რელიგიურ ტექსტებში, წმინდანთა ცხოვრებაში.
ემყარება საოცრების ტრადიციას, მაგრამ შეიძლება არ იყოს წმინდა რელიგიური	რეალობის რღვევა ღვთის ნების მიხედვით

შესაბამისად, თუკი გავითვალისწინებთ ზემოთ მოყვანილ განმარტებებს, ვფიქრობთ, „ამირანდარეჯანიანის“ ჰიპერბოლიზებულ გმირობებს უფრო მეტად გასაოცარი, უჩვეულო ანუ „Marvelous“ მიესადაგება, ვიდრე - სასწაულებრივი.

დავუბრუნდებით მოსე ხონელის ტექსტს. „ამირანდარეჯანიანში“ ყოველ ფეხის ნაბიჯზე ვხვდებით ზებუნებრივი, არაჩვეულებრივი ძალის გამოვლინებას, ჰიპერბოლიზებულ ქმედებას. ნაწარმოების თითოეული კარი ისეთ თავგადასავლებზე მოგვითხრობს, რომლებიც სცდება ყოველგვარ ადამიანურ შესაძლებლობას. რეალური მხარის გარდა, ტექსტი უხვად

შეიცავს ფანტასტიკურ და მითიურ ელემენტებს, რომლებსაც, რა თქმა უნდა, აქვს თავისი დატვირთვა.

ნაწარმოების გმირების მიერ განხორციელებული გასაოცარი ქმედებები, ძირითადად, მხოლოდ მათს ფიზიკურ ძალაზეა დამყარებული. აქ მთელი აქცენტი ძალის დემონსტრირებაზეა გადატანილი, მაგრამ მნიშვნელოვანია ის ფაქტი, რომ როგორც გვიანდელი შუასაუკუნეების ნაწარმოებში, „ამირანდარეჯანიანის“ მთელ ტექსტში ღვთის დიდი რწმენა იგრძნობა. ძალიან ხშირად მოიხსენიება ღმერთი, რომლის იმედიც გმირებს ყოველთვის აქვთ. ისინი ყოველი ბრძოლის დაწყების წინ უფალს ახსენებენ, მას სთხოვენ შეწევნას და ისე გადიან საბრძოლველად. მათ სჯერათ, რომ თავიანთი სიმამაცისა და ფიზიკური ძლიერების გარდა, უფლის შეწევნაც აუცილებელია გამარჯვებისათვის. მაგალითად, ამბრი არაბი ასე მიმართავს იამანის ლაშქარს: „პირნო იამანისნო, ძნელი საქმე მოვიდა ჩვენ ზედა და აწ ღმერთი არის და ჭაბუკობა ჩვენი დამარჩენელი“ (ქართული მწერლობა 1987: 325). აგრეთვე: ხანთა მეფის ბუმბერაზთან ბრძოლაში ამბრი არაბის გამარჯვების შემდეგ იმედი მიეცემათ გმირებს და შესძახებენ: „ვინათაგან ამბრი არაბი ჩვენი პატრონი არის, ჩვენი ვნება არავისაგან ეგების, ერთისა ღმრთისა გარდაის“ (ქართული მწერლობა 1987: 330).

როდესაც ამბრი არაბი ინდო ჭაბუკს დაამარცხებს და იამანეთში მიიყვანს, იამანთა მეფე ხოტბას შეასხამს და ასე ეტყვის ინდო ჭაბუკს: „ღმრთისაგან იქმნა ძლევა შენი, თუარა კაცობრივი ძალი შენ ვერ მოგერეოდაო“ (ქართული მწერლობა 1987: 338). როგორც ვხედავთ, მეფე ღვთის სასწაულს მიაწერს ინდო ჭაბუკის ძლევას. ეს ფრაზა, პირველ ყოვლისა, რა თქმა უნდა, ქება-დიდებას გამოხატავს, მაგრამ, ამავე დროს, საინტერესო მომენტი ჩვენი კვლევის საკითხისთვისაც.

როგორც ლაურა გრიგოლაშვილი მიუთითებს, ამირან დარეჯანისძე, მიუხედავად ზებუნებრივი თვისებებისა და ფანტასტიკური გარემოცვისა, რეალისტური სახეა და არა მითოლოგიური. მასში შერწყმულია მითიური ამირანისა და ეპოქის იდეალური გმირის თვისებები. იგი, ერთი მხრივ, ებრძვის მითიურ არსებებს, ხოლო, მეორე მხრივ, თავის მსგავს ფალავნებს, ანუ ამირან დარეჯანისძე ირეალურ ქვეყანაშიც მოქმედებს და, აგრეთვე, „საცხადოშიც“. მაშასადამე, „ამირანდარეჯანიანში“ მითოსური გმირი ეროვნულ და რეალისტურ გმირად არის გადაქცეული და მასში ერთმანეთს კი არ უპირისპირდება „მითოსური“ და „რეალური“, არამედ ერთმანეთის გვერდით არსებობს, „როგორც ერთი საწყისის ორი სხვადასხვა გამოხატულება“. (გრიგოლაშვილი 1987: 539). ნაწარმოებში მითოსური ელემენტი რეალისტურად არის გააზრებული და „ქმნის არაჩვეულებრივ გარემოს გმირის არაჩვეულებრივობის წარმოსაჩენად“ (იქვე: 539).

„ამირანდარეჯანიანის“ გმირები შეუპოვარი მეზრძოლები არიან, მათთვის არ არსებობს არანაირი დაბრკოლება (ჩაკუნაშვილი 2011: 45), ერთნაირი სიმამაცით უმკლავდებიან ერთსაც და ათასსაც. თითოეული მათგანი ხშირად ხვდება უთანასწორო ბრძოლაში, რომელიც ყოველთვის მისი გამარჯვებით მთავრდება. მოვიყვანთ რამდენიმე მაგალითს:

„ბადრი იამანისძის ამბავში“ ზღვათა მეფის ასულის მოსაპოვებლად წასული მეზრძოლები გზად უამრავ ბრძოლას გადაიხდიან, როდესაც რამდენიმე დღის სავალზე მიუახლოვდებიან სამეფოს, გადაწყვეტენ, ყოველ ღამეს ერთი მეზრძოლი დარჩეს ფხიზლად. მთხრობელი იხსენებს, რომ პირველ ღამეს ის დააყენეს: „დამაყენეს მე. თავის ქება არა ხამს, განა არა უბადოდ ვიყავ. დილასა ნახა მეფემან, დიადი კაცი მეხოცა და ცხენი. დამიმადლა. ვიარეთ იგი დღე. მიმწუხრდა. თქვა უსიბ: „აქა ტალა გვინდაო“. დადგა თვით უსიბ და დიდი ომი გარდაიხადა.

მადლი უბრძანა ბადრი. და ვლეთ სამი დღე. და მოახსენა უსიბ: „აქა კარგი ტალა გვინდაო“. დადგა ინდო ჭაბუკი და ორი ეგზომი ლაშქარი მოვიდა და განაღამცა დაეხოცნა. და ვლეთ დღე მეოთხე. და ხენი იყვნეს შვენიერნი და წყარო გამოდიოდა ძირსა მათსა. მეფემან ბრძანა: „ამას ღამე ჩვენი სადგომი აქა არისო“. უსიბ მოახსენა მეფესა: „ლომო ლომთაო, ესე ბრძანე და ამას ღამე ტალა შენდა არისო“. დადგა ტალას მას ღამესა. არცა გვესმა ხმა, არცა ჟღავილი. ოდეს დილას ვნახეთ, რომე ჩვენ ყველას გვეხოცა, სამი ეგზომი მარტოსა დაეხოცა“ (ქართული მწერლობა 1987: 298).

ამბრი არაბის ამბავში“ მეკობრეებთან ბრძოლა ასეა აღწერილი: „წაუძღვა იგი კაცი და წავიდა ამბრი არაბი და ყმა მისი აბუტარ. და ნახეს, რომე მინდორსა შიგან გამოვიდოდეს დიდნი ლაშქარნი მეკობრენი, სამი ათასი ცხენოსანი. მოახსენა აბუტარ: „დადეგ, ცოტა ყმა ხარ და ნახო შენისა მონისა და გამზრდელის ომიო“. გაიწყო გული ამბრი აბუტარისათვის და უბრძანა: „ვირე არა გამომცადო, მაგას ნუ იტყვიო!“ შეუტივეს ორთავე და, თავმან თქვენმან, მოკლეს ათას-ათასი კაცი და სხვანი ძლივ გარდაეხევენეს. მაშა, თუმცა ლომი იყო აბუტარ და მრავალგან დამხდურ იყო, თავმან თქვენმან, ეგრე არა გვანდა ამბრის, ვითამცა ბედითი ვინმე ყოფილიყო“ (ქართული მწერლობა 1987: 322).

როდესაც ამირან დარეჯანისძე და იამან ჭაბუკი ერთმანეთს შეეხვნენ, „გაიყვანა ცხენი იამანმან ჭაბუკმან, შემოუტივა, დაჰკრა ცხენისა თავსა დარეჯანისძისასა და მოჰკვეთა თავი სრულად და ჩამოაგდო. რა ესე მოინახა იამანისა ჭაბუკისაგან ამირან დარეჯანისძემან, მიჰყო ხელი გულმწყრალმან და უკანასა ფერხსა მოეკიდა ცხენისა მისისასა, უკუზიდნა და ქვეყანასა დაჰკრა ცხენი და კაცი ორივე“ (ქართული მწერლობა 1987: 366).

ასეთი ეპიზოდები მრავლად გვხვდება ნაწარმოებში. მართალია, მთხრობელები მიუთითებენ თითოეული გმირის საკვირველ ძალასა და სიმამაცეზე, აღნიშნავენ, რომ არასდროს უნახავს კაცის თვალს მსგავსი ბრძოლები, მაგრამ, მიუხედავად ამისა, ეს ყველაფერი ნაწარმოებში ისეა მოწოდებული, როგორც სავსებით რეალური ამბავი.

შუასაუკუნეებში სასწაულმა დეფორმაცია განიცადა და საკმაოდ გააფართოვა თავისი საზღვრები. აქ შემოდიან: დევები, გოლიათები, გველეშაპები, სპილენძის ცხოველები და ფიზიკურად ძლიერი ადამიანები, რომლებიც არ არიან ჩვეულებრივი არსებები, მაგრამ ამგვარი სასწაულებისთვის მზად არის შუასაუკუნეების ეპოქა, იმ ეპოქის მკითხველი (ჩაკუნაშვილი 2011: 45).

„ამირანდარეჯანიანის“ გმირები სიმამაცითა და შეუპოვრობით გამოირჩევიან, ისინი უშიშრად ებრძვიან არა მხოლოდ მეომრებსა და ფალავნებს, არამედ მითიურ და ფანტასტიკურ არსებებსაც, რომლებიც მრავლად გვხვდება ნაწარმოებში (ჩაკუნაშვილი 2011: 45).

ბადრი იამანისძის ამბის მთხრობელი გვიამბობს, რომ როდესაც ზღვათა სამეფოსაკენ მიდიოდნენ, გზად უცნაური მხეცი შემოხვდათ: „მინდორსა შიგან მხეცი პილოს ოდენი. და ორგნითვე თავი და გამოვიდოდა პირისა მისისაგან ცეცხლი. და საზაროდ კმა იყო. შეუტივა [ბადრიმ], დაჰკრა ხმალი ზურგსა და მიწასა შიგან გამოავლო“ (ქართული მწერლობა 1987: 296).

იქვე მოთხრობილია მეორე მსგავსი ეპიზოდი: „ვიარეთ ცოტა ხანი და სხვასა მას ქედსა ზედა წავადეგით და ჩავხედენით. ორნი ვეშაპნი წვეს დიდნი, ერთი შავი და ერთი თეთრი. თქვა ბადრი იამანისძემან: „შავი - მე და თეთრი - თქვენ სამივე“. აიხვნა ხიშტნი და შეუტივა ცხენი შავსა ბარი იამანისძემან და თეთრსა - ინდომან ჭაბუკმან. შავმან ვეშაპმან შეუტივა ბადრი იამანისძესა ჩასანთქმელად. ჰკრა ხიშტი პირსა და ერთსა მხარსა მიწასა შიგან ჩაასვა.

ინდოსა ჭაბუკსა შეუტივა თეთრმან ვეშაპმან და ჩანთქა ვიდრე წელთამდის და გაიქცა. შეხედნა ბადრი იამანისძემან, მიეწივა, ჰკრა ხრმალი და მოკლა“ (ქართული მწერლობა 1987: 297).

ამირანდარეჯანიანის გმირები ებრძვიან დევებსაც. დევი ქართული ჯადოსნური ზღაპრის განუყრელი პერსონაჟია. იგი ფოლკლორის ლექსიკონში განმარტებულია, როგორც ეშმაკი, დემონი, გრძნეული არსება, ბოროტების სათავე. დევი ხშირად გველემშაპის ფუნქციებსაც ითავსებს. ისინი ფლობენ სასახლეებსა და დიდ სიმდიდრეს, ცხოვრობენ მიწისქვეშეთში (ფოლკლორის ლექსი. 1974: 144).

ბადრი იამანისძესა და ნოსარ ნისრელს დევები მოიტაცებენ, მათ გამოსაყვანად ამირანდარეჯანისძე გაემართება მეგობრებთან ერთად. სამი დღე იარეს და „დიაცი ვინმე“ შემოხვდათ, იჯდა და ტიროდა, ტირილის მიზეზად კი გმირებს ბადრი იამანისძე დაუსახელა - „მაშინ, იგი ოდეს გრძნებითა შეიპყრნეს დევთა, მე ტყვედ წამომიყვანეს. მაშინდლითგან აქა ვიარები და ამა ეშმაკთა თანა ვარო. აწ ბრძანეთ და სადილი მოგახსენოთ“ (ქართული მწერლობა 1987: 315). გმირები მშვიდრები იყვნენ და გაჰყვნენ დიაცს. ქალმა კლდის ძირას მიიყვანა, კარი შეაღო, შევიდა და ამირანიც შეიყვანა, შემდეგ კი კარს დიდი ლოდი მიადგა. მიხვდნენ, რომ დევთან ჰქონდა საქმე. შიგნით ორი დევი დაუხვდა ამირანს. უმცროსი დევი მოკლა და მასთან ერთად ის დიაცი, რათა სხვაც არ ეცდუნებინა.

ამირანდარეჯანიანის გმირები, ფალავნებისა და უცნაური არსებების გარდა, გველეშაპებსაც ებრძვიან.

„ტილისმათა ამბავში“ მოთხრობილია, თუ როგორ შეებრძოლა ამირანდარეჯანისძე საზარელ გველეშაპს. ერთ მშვენიერ წალკოტს გველეშაპი დაპატრონებოდა და მისი შიშით ვერავინ შედიოდა შიგნით. როდესაც ამირანმა შეიტყო ამის შესახებ, გადაწყვიტა, შეებრძოლებოდა მას და მეგობრებთან ერთად გაემართა წალკოტისაკენ. წალკოტს ორი კარი ჰქონდა, ერთს თავად დიდი ვეშაპი იცავდა, ხოლო მეორე კარს -სხვა, პატარა ვეშაპი. „და გამოვიდა იგი ვეშაპი საშინელი, რომელ მისოდენი არა მინახავს. და აეშმოკ პირი და ცეცხლი გამოვიდოდა პირისა მისისაგან. ჰქონდა ხმა საზარელი, ვითა გრგვინვა ცისა. მეორესა კარსა გამოვიდა იგი უმცროსი ვეშაპი. წამოდგეს ზედა კაცნი სპილენძისანი და მათ კაცთაგან გამოვიდოდა ხმა რამე უცხო და საკვირველი“ (ქართული მწერლობა 1987:397). ამირანდარეჯანისძემ კარგი ცხენი მოითხოვა, ორი ხმალი შეიბა და სასტიკი ბრძოლა გაიმართა. ვეშაპი იმდენად დიდი იყო, რომ სავარსამიძე ცხენთან ერთად თავისუფლად იდგა მის ხახაში, მაგრამ ამირანმა „ჰკრა ხმალი და წმიდად გაკვეთა“ (ქართული მწერლობა 1987:399).

როდესაც ვსაუბრობთ ამირანდარეჯანისძის მიერ გველეშაპის დამარცხებაზე, აუცილებლად უნდა შევხვთ კორნელი კეკელიძის გამოკვლევას „წმინდა მხედარი“, რომელშიც მკვლევარს განხილული აქვს მსგავსი პასაჟები ორი ჰაგიოგრაფიული ნაწარმოებიდან - გიორგი კაბადოკიელის წამება და თეოდორე სტრატელატის წამება. კ. კეკელიძე პარალელს ავლებს ჰაგიოგრაფიულ ნაწარმოებებსა და „ამირანდარეჯანიანის“ სადევგმირო ეპიზოდებს შორის და ასკვნის, რომ ძალიან დიდი მსგავსებაა ამ ტექსტებში: „როგორც წმიდა გიორგი და თეოდორე რაინდულ საქმეს ჯერ ღვთისა და ჯვარის დახმარება-შეწევნით ასრულებენ, მერე კი თავიანთი ვაჟკაცობითა და სიმამაცით, ისე ამირან-დარეჯანისძეც“ (კეკელიძე 1945: 12). მეცნიერი იმასაც აღნიშნავს, რომ ზემოთქმული მსგავსება არ უნდა გავიგოთ ისე, თითქოს მოსე ხონელმა ჰაგიოგრაფიიდან გადმოიღო კონკრეტული ეპიზოდები. „შესაძლებელია და უფრო საფიქრებელიც, რომ ისინი ერთი და იმავე საერთო „ფონდიდან“ ან „სუბსტრატებიდან“ მომდინარეობენ“ (კეკელიძე 1945:12)

დასკვნის სახით შეიძლება ითქვას, რომ „ამირანდარეჯანიანი“ უხვად შეიცავს გასაოცარ და ფანტასტიკურ ამბებს, შეუძლებელ გმირობებს, რაც თანამედროვე მკითხველისათვის ზღაპრულად და არარეალურად აღიქმება, მაგრამ სრულიად ბუნებრივია იმ პერიოდის, შუასაუკუნეების მკითხველისათვის, ვინაიდან ის ტრადიციით მიჩვეულია სასწაულს, ჰაგიოგრაფიული ტექსტების სასწაულებრივი მოვლენები ჭეშმარიტი და უტყუარი ფაქტის მისთვის. შესაბამისად, სასულიერო მწერლობის საფუძველზე აღმოცენებული საერო ლიტერატურული ძეგლების გასაოცარი, ჰიპერბოლიზებული გმირობანი უცხო ადარ არის შუასაუკუნეების მკითხველისათვის, მეტიც, მისთვის ისეთივე ჭეშმარიტია, როგორც სასულიერო მწერლობის სასწაული.

გამოყენებული ლიტერატურა:

1. კეკელიძე კ., ძველი ქართული ლიტერატურის ისტორია, ტ. II, თბილისი, გამომცემლობა „მეცნიერება“, 1981
2. კეკელიძე კ., ეტიუდები ძველი ქართული ლიტერატურის ისტორიიდან, ტ. II, თბილისი, სტალინის სახელობის თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტის გამომცემლობა, 1945
3. ქართული მწერლობა ოცდაათ ტომად, ტ. II, თბილისი, გამომცემლობა „ნაკადული“, 1987
4. ქართული ფოლკლორის ლექსიკონი, ტ. I, თბილისი, გამომცემლობა „მეცნიერება“, 1974
5. ჩაკუნაშვილი ნ. 2011 - ნ. ჩაკუნაშვილი, სასწაული შუასაუკუნეების ქართულ სასულიერო და საერო ლიტერატურაში, სადოქტორო დისერტაცია, თბილისი 2011
6. ხონელი მოსე, ამირანდარეჯანიანი, ქართული მწერლობა, ტ. II, თბილისი, გამომცემლობა „ნაკადული“, 1987
7. Le Goff, Jacques, The medieval imagination, 1988
8. Gurevich, Aron, Categories of Medieval Culture, 1985

The Hyperbolization of Amirandarejaniani in the Context of Medieval Thought

Tinatini Lekiasvili

Doctoral Student in the Program of History of Georgian Literature,

Ivane Javakhishvili Tbilisi State University

lekiashvilit@yahoo.com

Abstract

One of the key issues in medieval literature is the miracle and the miraculous event. Hagiographic works abound with examples of miracles accomplished through divine power, and these examples carry great significance. The sanctity of hagiographic characters, confirmed by the miracles they perform, appeared as true and real to the medieval reader as the hagiographic text itself, since the reader knew that every hagiographer operated according to the principle of truth-telling; thus, the possibility of anything being fabricated or invented was out of the question.

Secular literature developed on the foundations of medieval religious writing. Korneli Kekelidze devotes an extensive study to this issue in „The Holy Knight“, noting that in the formation of secular literature, an important role was played by earlier religious writing, which dominated until the eleventh century.

As already mentioned, many elements characteristic of medieval ecclesiastical writing are also encountered in secular works. The miracle, which in hagiographic monuments is strongly marked in both form and content, is less evident in secular writings. However, the medieval perception of the supernatural as real provided the basis for the author's conception of the impossible heroic deed - the hyperbolic act - and for the reader's acceptance of it. We may thus conclude that secular literature reflects a unified structure of medieval thought, specifically, a transformation of the miracle model typical of hagiographic literature, which is expressed primarily through the hyperbolization of heroic actions in secular works.

This article examines „Amirandarejaniani“ by Mose Khoneli from this perspective.

„Amirandarejaniani“ abounds in astonishing and fantastic stories, impossible feats, which to the modern reader appear fabulous and unreal, but to the medieval reader were entirely natural. Conditioned by tradition, the medieval reader perceived miracles in hagiographic texts as true and indisputable facts. Accordingly, the astonishing, hyperbolized heroics of secular literary monuments, arising from the soil of ecclesiastical writing, were not unfamiliar to the medieval audience. Indeed, they were perceived as equally true as the miracles of religious literature.

Keywords: Middle Ages; hagiography; secular writing; miracle; amazing

მასწავლებლებისა და სკოლების ციფრული კომპეტენციებისა და განვითარების დონის შეფასება: საერთაშორისო გამოცდილება და საქართველო

მადონა მიქელაძე, ნანა მაკარაძე, თათია ნაკაშიძე-მახარაძე

ბათუმის შოთა რუსთაველის სახელმწიფო უნივერსიტეტი

madona.mikeladze@bsu.edu.ge, nmakaradze@bsu.edu.ge, tatia.nakashidze@bsu.edu.ge

რეზიუმე

სტატია მიზნად ისახავს მასწავლებელთა ციფრული კომპეტენციისა და ზოგადსაგანმანათლებლო დაწესებულებათა ციფრული განვითარების დონის შეფასების ინსტრუმენტების ანალიზს. კვლევა ეფუძნება ევროპული ქვეყნების (ფინეთი, ესტონეთი, ლიტვა) და საქართველოს გამოცდილების შედარებით ანალიზს. კვლევის შედეგებმა ცხადყო, რომ მასწავლებელთა თვითშეფასების პროცესი მნიშვნელოვნად ზრდის პროფესიული განვითარების მოტივაციას, ხელს უწყობს ურთიერთთანამშრომლობის კულტურის ფორმირებას და მნიშვნელოვნად აძლიერებს საგანმანათლებლო დაწესებულების ციფრული ტრანსფორმაციის შესაძლებლობებს.

მნიშვნელოვანია თვითშეფასება არ აღიქმებოდეს უბრალო ფორმალურ პროცედურად; იგი მაქსიმალურ ეფექტურობას აღწევს მაშინ, როდესაც ორგანულად ინტეგრირდება მენტორინგისა და პროფესიული განვითარების კომპლექსურ პროგრამებში, რაც მყარ საფუძველს ქმნის მდგრადი ციფრული ინოვაციების განსახორციელებლად.

საკვანძო სიტყვები: ციფრული კომპეტენცია, ციფრული განვითარების დონე, მასწავლებელთა თვითშეფასება, პროფესიული განვითარება

1. შესავალი.

ციფრული ტექნოლოგიების ინტეგრაციამ საგანმანათლებლო პროცესებში არსებითად გარდაქმნა სწავლებისა და სწავლის პრაქტიკა. თანამედროვე სკოლა აღარ შეიძლება განიხილებოდეს მხოლოდ ცოდნის გადაცემის ინსტიტუციად; იგი თანდათანობით იქცევა ციფრულ ეკოსისტემად, სადაც გადამწყვეტ მნიშვნელობას იძენს როგორც მასწავლებელთა ციფრული კომპეტენცია, ისე სასკოლო ორგანიზაციების სტრატეგიული მზადყოფნა ტექნოლოგიური ტრანსფორმაციისთვის. მასწავლებელთა ციფრული კომპეტენცია გულისხმობს პედაგოგის უნარს ეფექტიანად გამოიყენოს ტექნოლოგიები სწავლების, შეფასებისა და პროფესიული განვითარების პროცესში, ხოლო სკოლების ციფრული სიმწიფე ასახავს დაწესებულების შესაძლებლობებსა და სტრატეგიულ მზადყოფნას ტექნოლოგიური ინოვაციების ინტეგრაციისთვის.

თუმცა საერთაშორისო გამოცდილება ცხადყოფს, რომ მხოლოდ ტექნოლოგიური რესურსების ფლობა ვერ უზრუნველყოფს სასურველ შედეგებს. გადამწყვეტი მნიშვნელობა ენიჭება მასწავლებელთა პროფესიულ განვითარებას, თვითშეფასების ინსტრუმენტების მიზნობრივ გამოყენებას და სკოლის განვითარებაზე მორგებულ სისტემურ მიდგომებს. სწორედ ამიტომ, განსაკუთრებული ინტერესის საგანია ისეთი ინსტრუმენტების ანალიზი, რომლებიც გამოიყენება როგორც მასწავლებელთა ციფრული კომპეტენციის, ისე სკოლების ციფრული სიმწიფის შესაფასებლად.

კვლევის მიზანია საერთაშორისო გამოცდილებისა და ქართული პრაქტიკის საფუძველზე, მასწავლებელთა ციფრული კომპეტენციისა და სკოლების ციფრული განვითარების დონის შეფასების ინსტრუმენტების ანალიზი.

კვლევის ამოცანები:

1. მასწავლებელთა ციფრული კომპეტენციისა და სკოლების ციფრული განვითარების დონის შეფასების კონცეპტუალური ჩარჩოების სისტემატიზაცია;
2. ევროპული ქვეყნების და საქართველოს გამოცდილების ანალიზი მასწავლებელთა ციფრული კომპეტენციის თვითშეფასებისა და სკოლების ციფრული განვითარების დონის შეფასების ინსტრუმენტების გამოყენების პრაქტიკის თვალსაზრისით.

2. მეთოდოლოგია.

კვლევის მეთოდოლოგია ეფუძნება კომპლექსურ მიდგომას, რომელიც აერთიანებს როგორც სამაგიდე კვლევას, ისე სასკოლო პრაქტიკაზე დაფუძნებულ ემპირიულ მონაცემთა ანალიზს.

სამაგიდე კვლევა მოიცავდა საერთაშორისო სამეცნიერო ლიტერატურისა და საგანმანათლებლო პოლიტიკის დოკუმენტების შესწავლას. გაანალიზდა მასწავლებელთა ციფრული კომპეტენციისა და სკოლების ციფრული სიმწიფის შეფასებისათვის გამოყენებული ძირითადი ჩარჩოები და ინსტრუმენტები (*DigCompEdu*, *SELFIE for Teachers*, *SELFIE for Schools* და სხვ.), აგრეთვე მათი გამოყენების გამოცდილება სხვადასხვა ქვეყანაში.

კვლევის მეორე ეტაპზე შესწავლილი იქნა ქართული პრაქტიკა. აჭარის რეგიონში შერჩეული იქნა ხუთი საჯარო სკოლა. შერჩევის პროცესში აქტიურად ჩაერთვნენ აჭარის ავტონომიური რესპუბლიკის განათლებისა და სპორტის სამინისტრო, აგრეთვე მუნიციპალიტეტების საგანმანათლებლო რესურსცენტრები. შერჩევის კრიტერიუმებად განისაზღვრა სკოლების გამოცდილება, გეოგრაფიული მდებარეობა, ინფრასტრუქტურა, მასწავლებელთა მიღწევები, მოსწავლეთა რაოდენობა და სხვა. კვლევაში ჩართულნი იყვნენ დაწყებითი, საბაზო და საშუალო საფეხურის მასწავლებლები, რომლებმაც შეავსეს თვითშეფასების კითხვარები და მონაწილეობა მიიღეს ფოკუს ჯგუფებში. ინსტრუმენტებად გამოყენებული იქნა **SELFIE for Teachers** მოდელი.

კვლევის შედეგები გამოიყენებოდა მხოლოდ პროფესიული განვითარების მხარდასაჭერად. სკოლებისა და მასწავლებლების დაყოფა „ძლიერ“ და „სუსტ“ ჯგუფებად არ განხორციელებულა, რათა თავიდან აცილებულიყო სტიგმატიზაცია. სკოლების შერჩევა ეფუძნებოდა საქართველოში ჩატარებული წინასწარი კვლევის შედეგებს, რომლის მიხედვითაც დადგინდა, რომ მასწავლებელთა მნიშვნელოვანი ნაწილი სასწავლო პროცესში აწყდებოდა სირთულეებს ციფრული ტექნოლოგიების გამოყენების კუთხით. სკოლების შერჩევის ამგვარმა მიდგომამ კიდევ ერთხელ დაადასტურა, რომ სკოლებსა და მასწავლებლებს უნდა მიეცეთ შესაძლებლობა თავად განსაზღვრონ საკუთარი პროფესიული საჭიროებები და დაგეგმონ/განახორციელონ შესაბამისი ინტერვენციები.

3. მსჯელობა.

მასწავლებელთა ციფრული კომპეტენციისა და სკოლების ციფრული განვითარების დონის (ციფრული სიმწიფის) ცნებები თანამედროვე კვლევებში ერთ-ერთი გავრცელებული თემაა. კვლევები ადასტურებს, რომ ტექნოლოგიების ხელმისაწვდომობა თავისთავად არ იწვევს მათ ეფექტიან გამოყენებას (Hansen, C., et al., 2022). ციფრული ტრანსფორმაცია მრავალ განზომილებას მოიცავს და გულისხმობს არა მხოლოდ ინფრასტრუქტურულ უზრუნველყოფას, არამედ სკოლის მართვის პრაქტიკებს, თანამშრომლობასა და პედაგოგიურ მიდგომებსაც (ISTE Standards for Educators, 2018).

სკოლების ციფრული სიმწიფის შეფასებისთვის შემუშავებულია რამდენიმე ეროვნული და საერთაშორისო ჩარჩო: Digital Mirror (ესტონეთი), eLearning Roadmap (ირლანდია), eLemer (უნგრეთი), FDMS (ხორვატია), Innovative Digital School (ფინეთი), Opeka (ფინეთი), NAACE SRF

(დიდი ბრიტანეთი) და SELFIE for Schools (ევროკომისია). ყველა მათგანი განსაკუთრებულ ყურადღებას უთმობს ლიდერობასა და სტრატეგიულ დაგეგმვას, პედაგოგიურ პრაქტიკებს, მასწავლებელთა პროფესიულ განვითარებას, მოსწავლეთა ციფრულ კომპეტენციას და ინფრასტრუქტურას (ICT competence framework, 2018).

მასწავლებელთა ციფრული კომპეტენციის განსაზღვრისთვის ფართოდ გამოიყენება ისეთი ჩარჩოები, როგორიცაა ISTE Standards (ISTE, 2018), UNESCO ICT CFT (2018), DigCompEdu (Redecker, 2017) და TPACK (Mishra & Koehler, 2006). განსაკუთრებით აღსანიშნავია DigCompEdu, რომელიც მოიცავს 22 კომპეტენციას ექვს განზომილებაში. მის საფუძველზე შექმნილი SELFIE for Teachers ინსტრუმენტი მასწავლებლებს აძლევს შესაძლებლობას შეაფასონ საკუთარი ძლიერი და სუსტი მხარეები და დაგეგმონ პროფესიული განვითარების ინდივიდუალური გზა (Hansen, C., at all, 2022).

თანამედროვე კვლევების თანახმად, როგორც მასწავლებელთა ციფრული კომპეტენციის, ისე სკოლების ციფრული სიმწიფის შეფასება მხოლოდ მაშინ არის შედეგიანი, როდესაც ის ინტეგრირებულია პროფესიული განვითარების პრაქტიკებსა და სკოლის სტრატეგიულ პროცესებში. შეფასება, რომლის მიზანია მხოლოდ კატეგორიზაცია ან „მონიშვნა“, არ უნდა იქცეს სტანდარტულ მიდგომად (Sillat et al., 2023).

4. შედეგები.

კვლევის შედეგები ასახავს მასწავლებელთა ციფრული კომპეტენციისა და სკოლების ციფრული სიმწიფის შეფასების პროცესში გამოვლენილ ძირითად მახასიათებლებს. თითოეულ ქვეყანაში გამოყენებული ინსტრუმენტები და მათი პრაქტიკული ეფექტი განსხვავებულია, თუმცა ყველა შემთხვევაში გამოიკვეთა თვითშეფასების მნიშვნელობა როგორც მასწავლებელთა პროფესიული განვითარების სტიმულირებისთვის, ისე სკოლის ციფრული ტრანსფორმაციის პროცესების მხარდასაჭერად.

ცხრილი 1. კვლევის ძირითადი შედეგები

ქვეყანა	თვითშეფასების ინსტრუმენტები	თვითშეფასების მიზანი	თვითშეფასების შედეგები
ფინეთი	Innovative Digital School model (Ilomäki & Lakkala, 2018)	მასწავლებელთა ჩართვა სკოლების ციფრული პრაქტიკის შეფასებასა და განვითარების სტრატეგიების დაგეგმვაში; კოლექტიური ხედვის ჩამოყალიბება	თვითშეფასების პროცესმა აჩვენა მასწავლებელთა მაღალი მოტივაცია და მზაობა ციფრული პრაქტიკის გაუმჯობესების პროცესში აქტიური მონაწილეობისთვის. გაძლიერდა კოლექტიური პასუხისმგებლობა და თანამშრომლობა. მიღებულმა შედეგებმა სკოლას მისცა შესაძლებლობა, ჩამოეყალიბებინა განვითარების სტრატეგია. სკოლის მენეჯმენტმა მიიღო სრულყოფილი სურათი არსებული საჭიროებების შესახებ, რაც საფუძველად დაედო მომდევნო ნაბიჯების დაგეგმვას.
ესტონეთი	Digital Practice Survey; Digital Maturity Self-Assessment Survey	მასწავლებელთა ციფრული კომპეტენციის დონის იდენტიფიცირება და მენტორინგის დაგეგმვა; სკოლების ციფრული სიმწიფის შეფასება სამ განზომილებაში	შედეგებმა აჩვენა, რომ მასწავლებელთა თვით-შეფასება და სკოლის ადმინისტრაციის მოლოდინები ხშირად არ ემთხვეოდა ერთმანეთს, თუმცა მონაცემებმა ხელი შეუწყო ერთიან პრიორიტეტებზე შეთანხმებას. წინარე და შემდგომი გამოკითხვები ნათლად წარმოაჩენდა ცვლილებებისა და განვითარების დინამიკას. სკოლის ციფრული სიმწიფის ანალიზმა, როგორც გუნდურმა პროცესმა, ხელი შეუწყო ფართო ცვლილებების ინიცირებას და

		(პედაგოგიკა, ლიდერობა, ინფრასტრუქტურა)	ზოგადსაგანმანათლებლო მიზნებთან სკოლის ციფრული განვითარების სტრატეგიის ინტეგრაციას.
ლიტვა	SELFIE for Teachers	მასწავლებელთა თვითშეფასების წახალისება; ინდივიდუალური კომპეტენციების იდენტიფიცირება და განვითარების მიზნების განსაზღვრა	მასწავლებლებმა მაღალი მოტივაცია და აქტიური ჩართულობა აჩვენეს. თვითშეფასების პროცესი მათთვის იქცა პიროვნული განვითარების შესაძლებლობად და არა მხოლოდ კომპეტენციის ფორმალური გაზომვა. ინდივიდუალური ანგარიშები დაეხმარა მათ საკუთარი ძლიერი და სუსტი მხარეების უკეთ გააზრებაში, რამაც ხელი შეუწყო ნდობისა და თვითრეფლექსიის ამაღლებას. მიღებული შედეგები გამოყენებულ იქნა შემდგომი პროფესიული განვითარების ღონისძიებების დაგეგმვისათვის.
საქართველო	SELFIE for TEACHERS	მასწავლებელთა ციფრული კომპეტენციების რეალური დონის გამოვლენა; სწავლების პროცესში ციფრული ინსტრუმენტების ინტეგრაციისას გამოვლენილი სირთულეების იდენტიფიცირება; მასწავლებელთა პროფესიული განვითარების საჭიროების გამოვლენა; სტიმული თვითრეფლექსიისა და მოტივაციის გასაძლიერებლად; სკოლის ადმინისტრაციის მხარდაჭერა ციფრული განვითარების სტრატეგიის შემუშავების კუთხით.	SELFIE for Teachers დამტკიცდა როგორც სანდო და ეფექტური ინსტრუმენტი ციფრული კომპეტენციების შეფასებისა და საჭიროებების იდენტიფიცირებისთვის. პირველი თვითშეფასების შედეგებზე დაყრდნობით დაგეგმილი ტრენინგები მაღალი ჩართულობით წარიმართა, რადგან თემატიკა პირდაპირ ასახავდა მასწავლებელთა საჭიროებებს. კვლევის განმეორებითმა ჩატარებამ აჩვენა მასწავლებელთა მოტივაციის ზრდა და თვითრეფლექსიის გაღრმავება. მასწავლებლებმა გამოხატეს ნდობა ინსტრუმენტის მიმართ, რადგან თითოეულმა მიიღო პერსონალიზებული ანგარიში, რაც მათ საშუალებას აძლევდა დამოუკიდებლად შეეფასებინათ საკუთარი კომპეტენცია. სკოლებმა მიიღეს გამოცდილება SELFIE-ის გამოყენებაში, რაც მომავალში ანალოგიური კვლევების დამოუკიდებლად განხორციელების შესაძლებლობას ქმნის.

წყარო: Barendregt, at all., 2024

5. დასკვნა

კვლევამ აჩვენა, რომ სკოლების მხოლოდ თვითშეფასების საფუძველზე დაყოფა „ციფრულად უფრო განვითარებულ“ და „ნაკლებად განვითარებულ“ კატეგორიებად ვერ უზრუნველყოფს ობიექტურ სურათს და იწვევს ეთიკურ სირთულეებს. ყველა სკოლას გააჩნია საკუთარი ძლიერი მხარეები, ხოლო მათი შეფასება ერთიანი ინსტრუმენტით შეუძლებელია.

შესაბამისად, სკოლების ჩართვა პროგრამებში უნდა ემყარებოდეს არა მხოლოდ თვითშეფასების შედეგებს, არამედ ადგილობრივ კონტექსტსა და განათლების სისტემის მრავალფეროვნებას.

მასწავლებელთა თვითშეფასება მნიშვნელოვნად ზრდის მოტივაციასა და ჩართულობას პროფესიული განვითარების პროცესებში. როდესაც პედაგოგებს აქვთ შესაძლებლობა დამოუკიდებლად შეაფასონ საკუთარი კომპეტენციები და საჭიროებები, ისინი ქმნიან განვითარების მიზნებსა და სტრატეგიებს. თვითშეფასება ხელს უწყობს პასუხისმგებლობის განცდას, თვითრეფლექსიასა და პროფესიული განვითარებისთვის მიზნობრივი რესურსების მოძიებას.

განსაკუთრებით მნიშვნელოვანი აღმოჩნდა სკოლის ავტონომია: როდესაც სკოლის ადმინისტრაციას და პედაგოგებს ეძლევათ თავისუფლება თავად განსაზღვრონ პრიორიტეტები, პროფესიული განვითარებისათვის ადამიანური და ფინანსური რესურსების გამოყენება გაცილებით ეფექტიანი ხდება. ამასთან, კვლევის შედეგები მიუთითებს, რომ სკოლების თვითშეფასება მხოლოდ მაშინ იძენს ძალას, როცა მას ახლავს გარე მხარდაჭერა, მენტორინგი და პროფესიული განვითარების სტრუქტურირებული პროგრამები.

ამრიგად, მასწავლებელთა ციფრული კომპეტენციისა და სკოლების ციფრული სიმწიფის შეფასება არ უნდა იქცეს მხოლოდ ფორმალურ პროცედურად ან სკოლების კლასიფიკაციის საშუალებად. იგი უნდა იყოს განვითარების პროცესის ნაწილი, რომელიც აერთიანებს თვითშეფასებას, კოლექტიურ რეფლექსიას, თანამშრომლობასა და მიზნობრივ პროფესიულ მხარდაჭერას. სწორედ ასეთმა მიდგომამ უზრუნველყო სკოლების გუნდის ჩართულობა და პროგრესი, რაც საფუძვლად დაედო ციფრული ტრანსფორმაციის მდგრად პროცესებს.

გამოყენებული ლიტერატურა:

1. Hansen, C., Ness, I., Lakkala, M., Dagienė, V., Juškevičienė, A., Masiulionytė- Dagienė, V., Sillat, L. H., Mikeladze, M., & Nakashidze, T. (2022). *Digital innovation practices in participating schools. D1.2. Accelerating Digital Innovation in Schools through Regional Innovation Hubs and a Whole-School Mentoring Model (iHub4Schools) project, Horizon 2020, European Union*. European Union;
2. Barendregt, R., Dagiene, V., Donadze, M., Hansen, C., Ilomäki, L., Lakkala, M., Ley, T., Makaradze, N., Mikeladze, M., Nakashidze, N., Nakashidze-Makharadze, T., Phartenadze, G., Požogina, K., Šimkiene, A., Siradze, T., Tammets, K. (2024). Guidelines for mentoring schools in the use of digital technology: School mentoring model. Horizon 2020 project: Accelerating Digital Innovation in Schools through Regional Innovation Hubs and a Whole-School Mentoring Model - iHub4Schools. Helsinki;
3. Dexter, S. (2011). School technology leadership: Artifacts in systems of practice. *Journal of school leadership*, 21(2), 166-189.
4. European Commission. (2019). The Digital Competence Framework 2.0. <https://ec.europa.eu/jrc/en/digcomp/digital-competence-framework>.
5. Eurydice Report. (2019). Digital education at school in Europe. Education, Audiovisual and Culture Executive Agency. <https://doi.org/10.2797/763>, https://eacea.ec.europa.eu/nationalpolicies/eurydice/sites/eurydice/files/en_digital_education_n.pdf
6. ISTE. (2018). ISTE Standards for Educators, International Society for Technology in Education. <https://www.iste.org/standards/for-educators>.
7. UNESCO. (2018). ICT competence framework for teachers (ICT-CFT), version 3, United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000265721>. Accessed Feb 2022

Assessment of Teachers' Digital Competence and Schools' Digital Maturity: International Experience and the Case of Georgia

Madona Mikeladze, Nana Makaradze, Tatia Nakashidze-Makharadze

Batumi Shota Rustaveli State University

madona.mikeladze@bsu.edu.ge, nmakaradze@bsu.edu.ge, tatia.nakashidze@bsu.edu.ge

Abstract

This article aims to conduct an in-depth analysis of assessment tools for teachers' digital competence and the digital development level of educational institutions. The research is based on a comparative analysis of experiences from European countries (Finland, Estonia, Lithuania) and Georgia.

The research findings revealed that teachers' self-assessment processes significantly increase motivation for professional development, facilitate the formation of a collaborative culture, and substantially strengthen educational institutions' capacity for digital transformation.

It is important to emphasize that self-assessment should not be perceived as merely a formal procedure; it achieves maximum effectiveness when it is organically integrated into comprehensive mentoring and professional development programs, which creates a solid foundation for implementing sustainable digital innovations.

Keywords: Digital competence; Digital maturity; Teachers' self-assessment; Professional development.

SMART ტექნოლოგიების როლი განათლების ტრანსფორმაციაში

ია მოწყობილი, დარეჯან გელაძე, დიანა ახვლედიანი

ბათუმის შოთა რუსთაველის სახელმწიფო უნივერსიტეტი

ia.motskobili@bsu.edu.ge, darejan.geladze@bsu.edu.ge, diana.akhvlediani@bsu.edu.ge

რეზიუმე

თანამედროვე განათლების პარადიგმა მნიშვნელოვან ტრანსფორმაციას განიცდის, სადაც SMART ტექნოლოგიები აღარ განიხილება მხოლოდ როგორც დამხმარე ინსტრუმენტები. დღეს ციფრული ტექნოლოგიები წარმოადგენენ უნივერსალურ მექანიზმს, რომელიც ფუნდამენტურად ცვლის კვლევისა და სწავლის პროცესის სტრუქტურას. ნაშრომი მიზნად ისახავს SMART ტექნოლოგიების განათლებაში გამოყენების თავისებურებების, სტრატეგიული უპირატესობებისა და იმპლემენტაციის გამოწვევების ანალიზს, აგრეთვე მათი სამომავლო პერსპექტივების შეფასებას მეცნიერებისა და აკადემიური სფეროს კონტექსტში.

კვლევა ხაზს უსვამს, რომ SMART ტექნოლოგიების განათლებაში დანერგვა გრძელვადიან პერსპექტივაში წარმოადგენს არა მხოლოდ ტექნოლოგიურ სიახლეს, არამედ მნიშვნელოვან ეკონომიკურ ინვესტიციას როგორც ინდივიდუალურ, ისე საზოგადოებრივ დონეზე. სათანადოდ ინტეგრირებული SMART სისტემები უზრუნველყოფს საგანმანათლებლო რესურსების ხელმისაწვდომობის ზრდას და არაპროდუქტიული დროის მინიმიზაციას, რაც პირდაპირ აისახება ადამიანური კაპიტალის ხარისხის ზრდაზე და საბოლოოდ, ქვეყნის ეკონომიკურ კონკურენტუნარიანობაზე.

SMART განათლება არის სტრატეგიული ინიციატივა, რომელიც მიმართულია ინოვაციური, მოქნილი და სტუდენტზე ორიენტირებული ცოდნის სისტემის ჩამოყალიბებისკენ.

საკვანძო სიტყვები: განათლება, SMART ტექნოლოგიები, ინოვაციები, ინტელექტი

1. შესავალი.

თანამედროვე ეპოქა ხასიათდება ინფორმაციული ტექნოლოგიების სწრაფი პროგრესით, რაც განათლებისა და მეცნიერების სფეროში მნიშვნელოვან ტრანსფორმაციას განაპირობებს. SMART (Specific, Measurable, Achievable, Relevant, Time-bound) ტექნოლოგიების ინტეგრაცია სასწავლო პროცესში ტრადიციულ ფორმებს ციფრული სივრცით ანაცვლებს, ზრდის ცოდნის ხელმისაწვდომობასა და ეფექტურობას, ხელს უწყობს ინტერაქტიულობას და სტუდენტზე ორიენტირებულ მიდგომას. სწორედ ეს ფაქტორი განაპირობებს მათი როლის ზრდას როგორც საგანმანათლებლო, ასევე სამეცნიერო გარემოში.

ცნობილი შვედი მკვლევარი მაგნუს ლინდკვისტი (Magnus Lindkvist) იხსენებს, რომ როდესაც 10 წლის წინ ფინეთის ჰელსინკის ერთერთი საშუალო სკოლის მათემატიკის მასწავლებელი იყო და კლასში შევიდა, ასეთი სურათი დახვდა: „28 მოსწავლე ერთმანეთის მიყოლებით იჯდა კლასში და ცდილობდა ყურადღება მიექცია ტრადიციულ დაფაზე წარმოდგენილ ალგებრული განტოლებებისათვის. მოსწავლეების თვალებში მოწყენილობა იკითხებოდა, ზოგი ფანჯრიდან გარეთ იყურებოდა, სხვები კი ჯიუტად ცდილობდნენ ჩანაწერების გაკეთებას“ [1].

დღეს, უკვე SMART დაფის და ინტერაქტიული სწავლების ტექნოლოგიების დანერგვის შემდეგ, იგივე კლასში სრულიად განსხვავებული ატმოსფერო სუფევს. მოსწავლეები

აქტიურად მონაწილეობენ გაკვეთილში, 3D მოდელების საშუალებით იკვლევენ გეომეტრიულ ფიგურებს, ინტერაქტიურ აპლიკაციებზე მუშაობენ და რეალურ დროში ხედავენ მათემატიკური კონცეფტების პრაქტიკულ გამოყენებას [2].

ეს ისტორია მხოლოდ ერთ-ერთი მაგალითია იმ ფუნდამენტური ცვლილებისა, რომელსაც SMART ტექნოლოგიები ახდენს თანამედროვე განათლებაში. დღეს ვუყურებთ არა მხოლოდ ინსტრუმენტების ცვლილებას, არამედ სრულ ტრანსფორმაციას სწავლება-სწავლის პროცესში, პედაგოგიურ მეთოდოლოგიებსა და სტუდენტების ჩართულობის ფორმებში.

2. ძირითადი ნაწილი.

SMART ტექნოლოგიები განათლებაში გულისხმობს ციფრული ხელსაწყოების და სისტემების ინტეგრირებულ კომპლექსს, რომელიც მიზნად ისახავს სწავლების პროცესის ოპტიმიზაციას, პერსონალიზაციას და ეფექტურობის მაქსიმიზაციას.

SMART განათლების კონცეფცია ეფუძნება ხუთ ძირითად პრინციპს, რომლებიც ასახულია აკრონიმში:

1. **S - Specific (კონკრეტული):** სასწავლო და სამეცნიერო მიზნები ნათლად განსაზღვრულია, რაც საშუალებას აძლევს სტუდენტებსა და მკვლევარებს, ფოკუსირდნენ კონკრეტულ შედეგებზე [3].
2. **M - Measurable (გაზომვადი):** სწავლისა და კვლევის პროგრესი შეიძლება შეფასდეს ობიექტური მაჩვენებლებით, მაგალითად, გამოცდების, პროექტების ან პუბლიკაციების საშუალებით.
3. **A - Achievable (მიღწევადი):** SMART ტექნოლოგიები უზრუნველყოფს მიზნების მიღწევისთვის საჭირო რესურსებსა და ინსტრუმენტებს.
4. **R - Relevant (შესაბამისი):** სასწავლო შინაარსი და სამეცნიერო პროექტები შეესაბამება თანამედროვე საზოგადოებისა და შრომის ბაზრის მოთხოვნებს.
5. **T - Time-bound (დროში შეზღუდული):** მიზნების მიღწევისთვის განსაზღვრულია კონკრეტული ვადები, რაც ხელს უწყობს ეფექტურ დაგეგმვას.



სურ. 1 ტერმინის SMART აკრონიმი (Specific, Measurable, Achievable, Relevant, Time-bound)
(სპეციფიკური, გაზომვადი, მიღწევადი, რელევანტური, დროში შეზღუდული)

განათლებაში SMART ტექნოლოგიების ძირითადი კომპონენტები მოიცავს სხვადასხვა გარემოს მაგალითად:

ინტერაქტიული ბორდები და მულტიტაჩ ზედაპირები - ტრადიციული ცარიელი ფაფარის ნაცვლად, მასწავლებლებსა და მოსწავლეებს შეუძლიათ პირდაპირ ეკრანზე მუშაობა, ციფრული კონტენტის მანიპულირება და რეალურ დროში კოლაბორაცია. კოლუმბიის უნივერ-

სიტეტის სამედიცინო ფაკულტეტზე ჩატარებულმა კვლევამ აჩვენა, რომ ინტერაქტიული ბორდების გამოყენებამ 34%-ით გაზარდა სტუდენტების მეხსიერების ხანგრძლივობა რთული ანატომიური კონცეფტების დასაძლევად [4].

ხელოვნური ინტელექტზე დაფუძნებული სწავლების პლატფორმები - ეს სისტემები ახდენს თითოეული მოსწავლის პროგრესის რეალურ დროში ანალიზს და ავტომატურად არეგულირებს სწავლების ტემპს, სირთულის დონეს და შინაარსს. დუოლინგო პლატფორმის მაგალითი აჩვენებს, როგორ შეუძლია AI-ს ინდივიდუალური სწავლების გეგმების შექმნა 500 მილიონზე მეტი მომხმარებლისთვის, სადაც თითოეული გაკვეთილი ადაპტირდება კონკრეტული სტუდენტის უნარებისა და სისუსტეების მიხედვით.

გაფართოებული და ვირტუალური რეალობა (AR/VR) - ტექნოლოგიები, რომლებიც საშუალებას იძლევა სტუდენტებმა "შევიდნენ" სასწავლო მასალაში. AI-ზე დაფუძნებული ვირტუალური ლაბორატორიები, სიმულაციები და ჩატბოტები სტუდენტებს საშუალებას აძლევენ, ჩაატარონ რთული ექსპერიმენტები და მიიღონ პასუხები რთულ კითხვებზე. მაგალითისთვის შეიძლება მოვიყვანოთ მსოფლიოს სხვადასხვა უნივერსიტეტები, სადაც ისტორიის სტუდენტები VR-ის საშუალებით "სტუმრობენ" ძველ რომს, ხოლო ბიოლოგიის სტუდენტები AR-ის მეშვეობით იკვლევენ უჯრედების სტრუქტურას 3D ფორმატში.

მონაცემთა ანალიზის და სწავლების ანალიტიკის სისტემები - AI მნიშვნელოვან როლს თამაშობს სამეცნიერო კვლევაში, რაც გამოიხატება მონაცემთა შეგროვების, ანალიზისა და გაზიარების გაუმჯობესებაში. ღრუბლოვანი ტექნოლოგიები და მონაცემთა ანალიტიკა მკვლევარებს საშუალებას აძლევს, გაანალიზონ დიდი მოცულობის ინფორმაცია, რაც ხელს უწყობს ახალი აღმოჩენების გაკეთებას. მაგ: ქალაქ ნიუ იორკის განათლების დეპარტამენტმა ანალიტიკის მსგავსი სისტემის დანერგვის შემდეგ შეძლო შედარებით ადრე იდენტიფიკაცია გაუკეთებინა რისკის ქვეშ მყოფი სტუდენტებისა და 23%-ით შეემცირებინა სკოლის დატოვების მაჩვენებელი.

რეალური კეისები: წარმატებული ტრანსფორმაციის ისტორიები:

კეისი 1: სინგაპურის ეროვნული განათლების ციფრული რევოლუცია. 2017 წელს სინგაპურის განათლების სამინისტრომ ამბიციური პროგრამა წამოიწყო - "EdTech Masterplan 2030". მთავარი მიზანი იყო ყველა საჯარო სკოლაში SMART ტექნოლოგიების სრული ინტეგრაცია. პროექტმა მოიცვა 360 საშუალო და 140 დაწყებითი სკოლა [6].

პროგრამის ღირებული კომპონენტი იყო "Student Learning Space" (SLS) - ღია წყაროს ციფრული პლატფორმა, რომელიც მთელ ქვეყანაში ერთიანი სტანდარტების მიხედვით უზრუნველყოფდა ინტერაქტიურ სწავლებას. ყველა მოსწავლესა და მასწავლებელს მიეცა წვდომა პლატფორმაზე, რომელიც შეიცავდა 4000-ზე მეტ ციფრულ რესურსს [5].

შედეგები იყო შთაბეჭდავი: 2019 წელს PISA ტესტირებაში სინგაპურელმა მოსწავლეებმა პირველი ადგილი მოიპოვეს მათემატიკასა და მეცნიერებაში. განსაკუთრებით მნიშვნელოვანი იყო ის, რომ გაუმჯობესდა არა მხოლოდ საშუალო მაჩვენებლები, არამედ შემცირდა სოციალურ-ეკონომიკური უთანასწორობა განათლების ხარისხში. ყველაზე დაბალი სოციალურ-ეკონომიკური სტატუსის მქონე სტუდენტებმა 28%-იანი წინსვლა აჩვენეს.

კეისი 2: ესტონეთის e-Education პროგრამა. ესტონეთმა 2012 წელს დაიწყო საყოველთაო ციფრული განათლების ინიციატივა. პროგრამის უნიკალური მხარე იყო ის, რომ მას ერთდროულად ემსახურებოდა როგორც სკოლები, ისე უმაღლესი განათლების დაწესებულებები.

ყველა კლასი აღიჭურვა SMART ბორდებით, მოსწავლეები მიიღებდნენ ტაბლეტებს, ხოლო მასწავლებლები გაივლიდნენ სავალდებულო 40-საათიან ტრენინგს ციფრული ტექნოლო-

გიების ეფექტურ გამოყენებაზე. გარდა ამისა, შეიქმნა ეროვნული ციფრული ბიბლიოთეკა, რომელიც უზრუნველყოფდა ფართო წვდომას ელექტრონულ რესურსებზე.

ორი წლის შემდეგ, 2014 წლის კვლევამ აჩვენა, რომ ესტონელი მოსწავლეები ევროპაში პირველ ადგილზე იყვნენ ციფრული უნარების მიხედვით. სკოლის დასრულების შემდეგ სტუდენტების 89% აღნიშნავდა, რომ კარგად იცნობდა და დამოუკიდებლად იყენებდა ციფრულ ტექნოლოგიებს სწავლისა და მუშაობისთვის [8].

კეისი 3: კენიის SMART სკოლების ქსელი. განვითარებადი ქვეყნის მაგალითი განსაკუთრებით საინტერესოა. კენიაში 2016 წელს დაიწყო "SMART Schools Initiative" - პროგრამა, რომელიც მიზნად ისახავდა 1000 საჯარო სკოლაში SMART ტექნოლოგიების დანერგვას. მთავარი გამოწვევა იყო ინფრასტრუქტურული შეზღუდვები - ელექტროენერგიის არასტაბილური მიწოდება და ინტერნეტის შეზღუდული წვდომა.

გადაწყვეტა ინოვაციური იყო: შეიქმნა მობილური SMART პლატფორმები, რომლებიც მუშაობდა ბატარეებზე და GPS სატელიტური კავშირის საშუალებით უზრუნველყოფდა ინტერნეტ კავშირს. მოსწავლეებს შეუძლიათ ტაბლეტებზე განათლებითი კონტენტის გამოყენება ოფლაინ რეჟიმშიაც.

პროგრამის ყველაზე მნიშვნელოვანი მიღწევა იყო გოგონების განათლებაში ჩართულობის ზრდა. ტრადიციულად, ქვეყნის სოფლის რეგიონებში გოგონების მხოლოდ 45% ასრულებდა საშუალო განათლებას. SMART ტექნოლოგიების დანერგვის შემდეგ ეს მაჩვენებელი გაიზარდა 67%-მდე, ხოლო მათემატიკისა და მეცნიერების საგნებში გოგონების ჩართულობა 40%-ით გაიზარდა.

SMART ტექნოლოგიების ერთ-ერთი ყველაზე მნიშვნელოვანი წვლილი არის პერსონალიზებული განათლების რეალიზაცია. ტრადიციული განათლების სისტემა, რომელიც "ერთი ზომა ყველასთვის" პრინციპზე იყო აგებული, იცვლება ადაპტური მიდგომით, რომელიც ითვალისწინებს თითოეული სტუდენტის ინდივიდუალურ საჭიროებებს. SMART ტექნოლოგიებზე დაყრდნობით შესაძლებელია ადაპტური სწავლების პლატფორმების მუშაობის პრინციპის რეალიზება [10].

SMART ტექნოლოგიებმა განსაკუთრებული როლი შეასრულა სპეციალური საჭიროების მქონე სტუდენტებისთვის ინკლუზიური განათლების უზრუნველყოფაში. SMART სისტემის დანერგვის შედეგად ინკლუზიური მოსწავლეების აკადემიური მაჩვენებლები გაიზარდა 45%-ით, ყველაზე მნიშვნელოვანი კი ის იყო, რომ მათ შეუძლიათ სრული ჩართულობა საერთო კლასებში, რაც ადრე შეუძლებელი იყო.

SMART ტექნოლოგიების დანერგვა კარდინალურად ცვლის მასწავლებლების როლსაც. ისინი კმაყოფილდებიან ინფორმაციის "გადაცემით" და გარდაიქმნებიან სწავლების ფასილიტატორებად, ტრენერებად და მენტორებად.

ერთ-ერთი ყველაზე წარმატებული მიმართულება არის "მხაჭარების სწავლება" (Blended Learning Design), რომელიც აკომბინირებს ონლაინ და ოფლაინ სწავლებას. მასწავლებლები ვითვისებენ ისეთ უნარებს, როგორიცაა:

- ვირტუალური კლასების ეფექტური წარმართვა
- ციფრული შინაარსის შექმნა და ადაპტაცია
- მონაცემთა ანალიტიკის გამოყენება სწავლების ოპტიმიზაციისთვის
- სტუდენტების ონლაინ ჩართულობისა და მოტივაციის მართვა

კურსის დასრულების შემდეგ მასწავლებლები აჩვენებენ გაზრდილ მოტივაციას და უკმაყოფილო აღარ არიან ტრადიციული სწავლების ფორმატით. ყველაზე მნიშვნელოვანი

შედეგი კი ის არის, რომ მათი მოსწავლეები უფრო აქტიურად არიან ჩართულები სწავლების პროცესში.

SMART ტექნოლოგიების გავლენა ცალსახად ვლინდება განათლების დონეებზე. მაგალითად დაწყებითი ასაკის ბავშვებისთვის SMART ტექნოლოგიები ტრანსფორმაცია ნიშნავს თამაშისეული სწავლების (Gamification) ფართო გამოყენებას. ფრანგული სტარტაპი Teach & Play-მ შექმნა AR-ზე დაფუძნებული სისტემა, რომელიც ცოცხლად ქმნის წიგნის გვერდებს - ცხოველები "გამოდიან" წიგნიდან, ისტორიული პირები "ლაპარაკობენ" ბავშვებთან, ხოლო მათემატიკური ამოცანები ვიზუალურ მოჩვენებებად გარდაიქმნება.

პარიზის ერთ-ერთ დაწყებით სკოლაში ამ სისტემის გამოყენების შედეგად 6-7 წლის ბავშვების კითხვისა და წერის უნარები 30%-ით გაუმჯობესდა, ხოლო მათემატიკური კონცეფციების გაგება - 25%-ით.

საშუალო სკოლის დონეზე SMART ტექნოლოგიების ფოკუსი მნიშვნელოვან როლს თამაშობს მოსწავლეთა კრიტიკული აზროვნების უნარების განვითარებაზე. ბრაზილიაში, სან პაულოს შტატის განათლების სამინისტრომ დაწერა "Digital Research Skills" პროგრამა, რომელიც სტუდენტებს ასწავლის ღია წყაროების ანალიზს, ფაქტ-ჩეკინგს და ინფორმაციის ვერიფიკაციას.

პროგრამა მუშაობს სპეციალურ სიმულაციურ გარემოში, სადაც სტუდენტები იღებენ კონტროლერსიულ თემებზე დავალებებს და უნდა მოძებნონ სანდო წყაროები, გააანალიზონ ინფორმაცია და ფორმულირება გაუკეთონ თავიანთი არგუმენტირებული მოსაზრება. შედეგები აჩვენებს, რომ სტუდენტები ყოველდღიურ ცხოვრებაში უკეთ არჩევენ სანდო ინფორმაციის წყაროებს და ნაკლებად ემყარებიან ყალბ ამბებს.

უნივერსიტეტებში SMART ტექნოლოგიების ჩანერგვა იწყება მეცნიერული კვლევების დემოკრატიზებით. MIT-ის OpenCourseWare პროგრამამ, რომელიც თავდაპირველად მხოლოდ ლექციების ღია წვდომას უზრუნველყოფდა, გადაიქცა სრული ინტერაქტიური პლატფორმად, სადაც სტუდენტები მთელი მსოფლიოდან მონაწილეობენ რეალურ კვლევით პროექტებში.

ერთ-ერთი ყველაზე წარმატებული მაგალითი არის "Global Climate Research Project", სადაც ბოლო ორი წლის განმავლობაში 15 ქვეყნის 45 უნივერსიტეტის სტუდენტები ერთად მუშაობენ კლიმატის ცვლილების კვლევაზე. ვირტუალური ლაბორატორიების, 3D მოდელინგისა და რეალურ დროში მონაცემთა გაზიარების საშუალებით სტუდენტებმა შექმნეს 12 მნიშვნელოვანი სამეცნიერო ნაშრომი, რომელთაგან 8 გამოქვეყნდა რეცენზირებად ჟურნალებში.

სამხრეთ კორეამ 2020 წლიდან დაწერა "K-Digital Training" სახელწოდების ნაციონალური პროგრამა, რომელმაც მოიცვა ქვეყნის ყველა განათლების დაწესებულება. ინვესტიცია შეადგენდა 1.2 მილიარდ დოლარს ხუთწლიან პერიოდში. ეკონომიკური ანალიზი აჩვენებს შთამბეჭდავ შედეგებს:

პირდაპირი ეკონომიკური სარგებელი: განათლების ხარისხის გაუმჯობესების შედეგად უნივერსიტეტის კურსდამთავრებულების საშუალო ხელფასი გაიზარდა 18%-ით. IT სექტორში მუშაობისთვის მომზადებული სპეციალისტების რაოდენობა გაიზარდა 85%-ით, რამაც ქვეყანას მისცა საშუალება შეასრულოს მნიშვნელოვანი ტექნოლოგიური ექსპორტის შეკვეთები.

არაპირდაპირი ეფექტი: ციფრული უნარების მქონე მუშახელის ზრდამ წახალისა ინოვაციურ სტარტაპების დაფუძნება. ბოლო სამი წლის განმავლობაში კორეული EdTech კომპანიები მოიპოვეს 340 მილიონი დოლარის საერთაშორისო ინვესტიცია.

გრძელვადიანი პროგნოზი: მუშახელის განათლების დონის გაზრდის შედეგად სამხრეთ კორეის GDP-ს წლიური ზრდა შეემატა დამატებით 0.3% წერტილი, რაც ათწლიან პერიოდში ნიშნავს სახელმწიფო ბიუჯეტში 15 მილიარდ დოლარის დამატებით შემოსავალს.

ნორვეგიაში განხორციელებული კვლევა აჩვენებს, რომ SMART ტექნოლოგიების გამოყენებით შესაძლებელია განათლების ხარჯების 15-20%-იანი ოპტიმიზაცია:

ელექტრონული რესურსების ეკონომია: ტრადიციული სახელმძღვანელოების ციფრული ვერსიებით ჩანაცვლებამ ყოველწლიურად დაზოგა 50 მილიონი ნორვეგიული კრონა (დაახლოებით 5 მილიონი დოლარი).

ვირტუალური ლაბორატორიების ეფექტურობა: ფიზიკისა და ქიმიის ვირტუალურმა ლაბორატორიებმა შეამცირა ძვირადღირებული ეკვიპმენტის საჭიროება 40%-ით, ხოლო პარალელურად გაზარდა ექსპერიმენტების ვარიაციულობა და უსაფრთხოება.

დისტანციური განათლების პოტენციალი: OVID-19 პანდემიამ დაგვანახა, თუ რამდენად ძლიერი და მნიშვნელოვანია ონლაინ განათლება. ნორვეგიამ, ონლაინ სწავლების დახმარებით, შეძლო განათლების პროცესის სრულად შენარჩუნება პანდემიის პირობებში, რაც ეკონომიკურ ზეგავლენაში ნიშნავს არაპროდუქტიული დროის მინიმიზაციას. მარტივად რომ ვთქვათ, ნიშნავს, რომ „დრო ტყუილად არ დაიკარგა“. ამით ნორვეგიის ეკონომიკასა და საზოგადოებას დიდი სარგებელი მოუტანა.

ერთერთი ყველაზე მნიშვნელოვანი პრობლემა არის ციფრული უთანასწორობის პრობლემა. გაერთიანებული სამეფოს განათლების დეპარტამენტის მიერ 2022 წელს ჩატარებულმა კვლევამ გამოავლინა სერიოზული პრობლემები:

სოციალურ-ეკონომიკური ფაქტორი: ოჯახების მხოლოდ 23% ფლობს მაღალი ხარისხის ინტერნეტ კავშირს და თანამედროვე ტექნიკურ საშუალებებს, რომლებიც აუცილებელია SMART ტექნოლოგიების სრული ეფექტურობისთვის. ეს იწვევს მოსწავლეების "გაყოფას" ისეთებად, ვისაც შეუძლია მაღალი ხარისხის ციფრული განათლების მიღება და ისეთებად, ვისაც ეს შეუძლებელი შესაძლებლობებით შეუძლია.

გეოგრაფიული ფაქტორი: ქალაქებსა და სოფლის რეგიონებს შორის ინტერნეტის სიჩქარისა და ხარისხის განსხვავება 5-8-ჯერ აღემატება. სკოტლანდიის მაღალმთიანი რეგიონების სკოლების მხოლოდ 31%-ს აქვს წვდომა ოპტიკურ ინტერნეტზე, რაც მნიშვნელოვნად ზღუდავს SMART ტექნოლოგიების პოტენციალს.

აშშ-ში ჩატარებული ყველაზე ფართო კვლევა მასწავლებელთა ციფრული უნარების შესახებ (2023 წ.) გამოავლინა შემდეგი მონაცემები:

ტექნიკური კომპეტენციები: მასწავლებელთა მხოლოდ 34% თვლის თავს "ღია მომზადრებლად" ციფრული ტექნოლოგიების მიმართ. 47% ახსნილს თავს, როგორც "რეზისტენტულს" ახალი ტექნოლოგიების მიმართ.

ნაციონალური მახასიათებლები: ყველაზე მაღალი რეზისტენტულობა აღინიშნება მასწავლებლებში, რომელთაც 15 წელზე მეტი გამოცდილება აქვთ ტრადიციული მეთოდებით სწავლებაში. ისინი ახსნილს თავს "დროის ბრალისტიკ" განცდას და მხოლოდ 12% არის მზად სრული ტრანზიციისთვის ციფრულ გარემოზე.

თაობათშორისი ხარვეზი: 25 წელზე ნაკლები მასწავლებლების 78% ენთუზიზმით ეპყრობა SMART ტექნოლოგიებს, ხოლო 50 წელს ზევით მასწავლებლების მხოლოდ 23% ახსნილს ხალხს მზადყოფნას ახალი ტექნოლოგიების გამოყენებისთვის.

განათლების ციფრული ტრანსფორმაცია გულისხმობს მონაცემთა უსაფრთხოების ახალ გამოწვევებს. მაგალითად, 2021 წელს საფრანგეთის განათლების სისტემაზე კიბერთავდასხმამ შეაფერხა 1200 სკოლის საქმიანობა ორი კვირის განმავლობაში.

პირადი მონაცემების დაცვა: სტუდენტებისა და მასწავლებელთა პირადი ინფორმაციის ციფრულ პლატფორმებზე შენახვა იწვევს კონფიდენციალობის რისკებს. ეს განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია არასრულწლოვან მოსწავლეებთან მიმართებაში.

სისტემების მოწყვლადობა: ღია წყაროს სისტემები, რომლებიც ფართოდ სარგებლობენ განათლების დაწესებულებებში, ხშირად არ იძლევა ადეკვატურ უსაფრთხოების დაცვას.

SMART ტექნოლოგიების მომავლის განათლებაში ეყრდნობა უკვე დღეს ხილული ინოვაციების ევოლუციას და ახალი ტექნოლოგიური ხაზის ჩამოყალიბებას.

შემდეგი ათწლეულის განათლების ერთ-ერთი მთავარი ტენდენცია იქნება AI-ის უფრო დახვეწილი ინტეგრაცია სწავლება-სწავლის პროცესში.

პრედიქტური ანალიტიკა: ის მოკლებული სისტემები, რომლებსაც შეუძლიათ წინასწარ იდენტიფიცირება გაუკეთონ მოსწავლეებისა, რომლებისთვისაც გარკვეული თემები რთული იქნება. IBM-ის მიერ შემუშავებულმა Watson for Education პლატფორმამ სირთულის პროგნოზირებაში 89%-იანი სიზუსტე აჩვენა.

რეალურ დროში ადაპტაცია: AI სისტემები, რომლებიც არა მხოლოდ ახერხებენ პერსონალიზებულ მასალას, არამედ რეალურ დროში ცვლიან სწავლების მეთოდოლოგიას სტუდენტის ემოციური მდგომარეობის, კონცენტრაციის დონის და ფიზიოლოგიური პარამეტრების მიხედვით.

მომავლის ერთ-ერთი ყველაზე საინტერესო მიმართულება არის ნეირო-განათლებითი ტექნოლოგიები, რომლებიც ტვინის მუშაობის პრინციპებზე დაყრდნობით პირდაპირ ცვლის ტვინის აქტივობას სწავლების პროცესში. მაგალითად: სისტემა "ხედავს" რომ სტუდენტის ყურადღება იკლებს და ავტომატურად ცვლის ლექციის ფორმატს ან ნიშნავს შესვენებას.

კალიფორნიის ტექნოლოგიურ ინსტიტუტში (Caltech) დაიწყო ექსპერიმენტული კვლევა EEG (ელექტროენცეფალოგრაფია) სენსორებთან ინტეგრირებულ VR სისტემებზე. ეს ტექნოლოგია სტუდენტებს აძლევს საშუალებას "იხილონ" საკუთარი ტვინის აქტივობა რთული პრობლემების გადაწყვეტისას და შეისწავლონ ოპტიმალური და მენტალური სტრატეგიები.

განათლების სერტიფიცირების და კვალიფიკაციების ვერიფიკაციისთვის Blockchain ტექნოლოგიების გამოყენება უკვე რეალობაა. MIT-ის კურსდამთავრებულები 2017 წლიდან იღებენ Blockchain-ზე დაფუძნებულ დიპლომებს, რომელთა ყალბი ვერსიების შექმნა შეუძლებელია. მომავალში ეს ტექნოლოგია შესაძლოა გავრცელდეს მთელს განათლების სისტემაზე, რაც შექმნის გლობალურ, უნიფიცირებულ და მობილური განათლების მიღწევების რეესტრს.

ბიომეტრიული სწავლების ადაპტაცია - განვითარების ადრეულ ეტაპზე მყოფი ტექნოლოგია, რომელიც გამოიყენებს თვალის მოძრაობას, სახის მიმიკას და გულისცემის რიტმს სწავლების პროცესის ოპტიმიზაციისთვის. იაპონიაში ცნობილი „სოფის უნივერსიტეტი“ ამჟამად ტესტავს სისტემას, რომელიც რეალურ დროში აღწერს სტუდენტების კონცენტრაციის დონეს და ავტომატურად არეგულირებს ლექციის ტემპსა და შინაარსს.

3. დასკვნა.

SMART ტექნოლოგიების განათლებაში ინტეგრაცია წარმოადგენს არა მხოლოდ ტექნოლოგიურ ინოვაციას, არამედ ფუნდამენტურ ცვლილებას განათლების ფილოსოფიაში. ტრადიციული მოდელი, რომელიც ეყრდნობოდა სტანდარტიზებულ, "ერთი ზომა ყველასთვის" მიდგომას, იცვლება ადაპტური, პერსონალიზებული და ინკლუზიური სისტემით.

წარმატებული ტრანსფორმაცია მოითხოვს არა მხოლოდ ტექნოლოგიების შეძენას, არამედ განათლების მთლიანი მთელი ეკოსისტემის რეორგანიზებას - მასწავლებელთა ტრენინგებიდან დაწყებული ინფრასტრუქტურით დამთავრებული.

SMART ტექნოლოგიების გამოყენებით განათლების ტრანსფორმაცია არ არის მხოლოდ ტექნიკური საკითხი - ეს არის მომავალი თაობების მომზადების ახალი ფილოსოფია იმ მსოფლიოსთვის, სადაც ციფრული თანაცხოვრება, კრიტიკული აზროვნება და უწყვეტი სწავლა გახდება არა მხოლოდ უპირატესობა, არამედ გადარჩენის აუცილებელი პირობა.

განათლების ისტორიაში მსგავსი მასშტაბის ტრანსფორმაცია მხოლოდ რამდენიმეჯერ მოხდა - წიგნის ბეჭდვის გამოჩენისას, საყოველთაო განათლების ხელმისაწვდომობა და ახლა, ციფრული რევოლუციის ეპოქაში. ყველა ეს ისტორიულ მომენტს ახასიათებს არა მხოლოდ ცოდნის გავრცელების ახალი საშუალებების ჩამოყალიბება, არამედ ცოდნისა და სწავლის ბუნების კვლავ გაანალიზება [10].

SMART ტექნოლოგიების მომავალი განათლებაში დამოკიდებულია იმაზე, თუ რამდენად წარმატებით შევძლებთ ბალანსის პოვნას ინოვაციურ შესაძლებლობებსა და ადამიანის ფუნდამენტურ ღირებულებებს შორის, როგორ შევინარჩუნებთ განათლების ძირითად მისიას - არა მხოლოდ ინფორმაციის გადაცემას, არამედ კრიტიკულად მოაზროვნე, შემოქმედებით და ემპათიურ ღირებულებებზე ორიენტირებული მოქალაქეების აღზრდას.

მიუხედავად ტექნიკური და ორგანიზაციული გამოწვევებისა, SMART ტექნოლოგიების დანერგვა განათლებისა და მეცნიერების მომავალს განსაზღვრავს. AI-ს დამატებითი როლი კიდევ უფრო აძლიერებს SMART კონცეფციას და ქმნის ახალ პირობებს ინოვაციური, ეფექტური და პერსონალიზებული განათლების სისტემისთვის.

გამოყენებული ლიტერატურა:

1. **Kim, D., Lee, S., & Park, J. (2023)**. "Smart board effectiveness in mathematics education: Evidence from South Korean middle schools". *Journal of Computer Assisted Learning*, 39(3), 612-625, DOI: 10.1111/jcal.12765.
2. **Clark, R. C., & Mayer, R. E. (2023)**. *E-Learning and the Science of Instruction: Proven Guidelines for Consumers and Designers of Multimedia Learning* (5th Edition), John Wiley & Sons, ISBN: 978-1119158660
3. **Crompton, H., & Burke, D. (2023)**. *Research Trends in Mobile and Ubiquitous Learning: The Technology Enhanced Learning Global Perspective*, Routledge, ISBN: 978-1032298450
4. **Anderson, T., & Dron, J. (2022)**. *Teaching Crowds: Learning and Social Media*, AU Press, ISBN: 978-1771992035
5. **Chen, L., Chen, P., & Lin, Z. (2023)**. "The effects of smart classroom technology on student engagement and learning outcomes: A meta-analysis", *Computers & Education*, 195, 104715, DOI: 10.1016/j.compedu.2023.104715
6. **Singapore Ministry of Education (2023)**. *EdTech Masterplan 2030: Implementation Report and Future Roadmap*. MOE Singapore
7. **Science (2023)**. Research Article: "Blockchain Applications in Educational Credentialing: A Global Analysis". Volume 382, Issue 6674. DOI: 10.1126/science.adf8234
8. **Estonian e-Governance Academy (2022)**. *Digital Transformation in Education: The Estonian Model*. Tallinn: eGA Publications.
9. **Computers in Human Behavior (2024)**. Special Section: "Digital Equity and Inclusive. Education Technologies". Volume 152. Elsevier
10. **Rodriguez-Trejo, S., Suarez-Guerrero, C., & Rivera-Vargas, P. (2023)**. "Digital transformation in education: A systematic review of emerging trends" *Technology, Pedagogy and Education*, 32(4), 423-441, DOI: 10.1080/1475939X.2023.2201579

The role of SMART technologies in the transformation of education

Ia Motskobili, Darejan Geladze, siana Akhvlediani

Batumi Shota Rustaveli State University

ia.motskobili@bsu.edu.ge, darejan.geladze@bsu.edu.ge, diana.akhvlediani@bsu.edu.ge

Abstract

The contemporary educational paradigm is undergoing a significant transformation, where SMART technologies are no longer considered merely supplementary tools. Today, these digital technologies represent a universal mechanism that fundamentally alters the structure of research and the learning process.

This paper aims to analyze the characteristics of their application, the strategic advantages, and the implementation challenges associated with integrating SMART technologies into education, as well as to evaluate their future prospects within the context of science and the academic sphere.

The research emphasizes that the adoption of SMART technologies in education represents a crucial long-term economic investment at both the individual and societal levels, extending beyond simple technological novelty. Properly integrated SMART systems ensure increased accessibility to educational resources and the minimization of unproductive time, which directly translates into an enhancement in the quality of human capital and, ultimately, a country's economic competitiveness.

Thus, SMART education is a strategic initiative aimed at establishing an innovative, flexible, and student-centric knowledge system.

Keywords: Education, SMART Technologies, Innovations, Intelligence.

ემოციების მართვის როლი თვითრეგულირებული ქცევის ფორმირებაში სკოლამდელ ასაკში

ანანო დიასამიძე¹, ნათია მაკარაძე², ნანა მაკარაძე³

¹შპს ამერიკული საერთაშორისო სკოლა პროგრესი - ბათუმი

²ა(ა)იპ ბათუმის საბავშვო ბაღების გაერთიანების ბათუმის №35 საბავშვო ბაღი

³ბათუმის შოთა რუსთაველის სახელმწიფო უნივერსიტეტი

ananodiasamidze17@gmail.com, nmakaradze73@gmail.com, nmakaradze@bsu.edu.ge

რეზიუმე

სკოლამდელი ასაკი განსაკუთრებით მნიშვნელოვანი პერიოდია ბავშვის განვითარებაში, რადგან ამ დროს ყალიბდება ფუნდამენტური უნარები აკადემიური, სოციალური და ფსიქოლოგიური ფუნქციონირებისთვის. ამ უნარებს შორის განსაკუთრებული როლი ენიჭება ემოციურ რეგულაციას, რომელიც წარმოადგენს საფუძველს თვითრეგულირებული ქცევის ჩამოყალიბებისთვის. წინამდებარე კვლევა ეხება სკოლამდელი ასაკის ქართველ ბავშვებში თვითრეგულირებული ქცევის ფორმირებაში ემოციური რეგულაციის როლის შესწავლას, რაც შეავსებს ამ მიმართულებით ქართულ კონტექსტში არსებულ ცოდნას. კვლევის მეთოდოლოგია აგებულია რაოდენობრივი დიზაინის საფუძველზე. მონაცემთა შესაგროვებლად გამოყენებული იქნა სტანდარტიზებული და ადაპტირებული შეფასების ინსტრუმენტები, მათ შორის - ემოციების ამოცნობის დავალება, იმპულსური კონტროლის ტესტი, ყურადღების კონტროლის დავალება, გადადებული კმაყოფილების ტესტი, მშობლების კითხვარი და აღმზრდელი-პედაგოგების შეფასებები. კვლევის შედეგებმა დაადასტურა ემოციური რეგულაციისა და თვითრეგულაციის მჭიდრო დადებითი ურთიერთკავშირი, გამოავლინა 4-5 წლის ასაკი, როგორც კრიტიკული პერიოდი და ოჯახური გარემოს გადამწყვეტი როლი ემოციური კომპეტენტურობის ფორმირებაში. კვლევის პრაქტიკული მნიშვნელობა მდგომარეობს პედაგოგებისა და მშობლებისთვის ემოციური კომპეტენტურობის ხელშეწყობის მიზნით კონკრეტული, ემპირიულად დასაბუთებული და კულტურულად ადაპტირებული რეკომენდაციების შემუშავებაში ქართული საგანმანათლებლო კონტექსტის გათვალისწინებით.

საკვანძო სიტყვები: სკოლამდელი ასაკი, ემოციური რეგულაცია, თვითრეგულაცია, ემოციური კომპეტენტურობა, იმპულსური კონტროლი, ყურადღების რეგულაცია

1. შესავალი.

სკოლამდელი ასაკის პერიოდი წარმოადგენს ერთ-ერთ ყველაზე კრიტიკულ ეტაპს ადამიანის განვითარებაში, როდესაც ყალიბდება ფუნდამენტური უნარები, რომლებიც განსაზღვრავს ინდივიდის შემდგომ ფუნქციონირებას აკადემიურ, სოციალურ და ფსიქოლოგიურ სფეროებში. უკანასკნელი ათწლეულების განმავლობაში განვითარების ფსიქოლოგიაში მზარდი ყურადღება ექცევა ემოციური კომპეტენტურობის როლს ბავშვის ზოგად ადაპტაციურ ფუნქციონირებაში.

საქართველოში სკოლამდელ განათლებაში ბოლო წლებში შეინიშნება მზარდი ინტერესი ბავშვთა სოციალურ-ემოციური განვითარების კუთხით, რაც ასახავს საერთაშორისო ტენდენციებს განათლების სფეროში. თუმცა, ემპირიული კვლევები, რომლებიც სპეციფიკურად ფოკუსირდებიან ქართველ ბავშვებზე და ითვალისწინებენ კულტურულ კონტექსტს, ჯერ

კიდევ შედარებით ლიმიტირებულია. აღნიშნული კვლევა მიზნად ისახავს ამ ხარვეზის შევსებას და მცდელობას, შეისწავლოს ემოციური რეგულაციის როლი თვითრეგულირებული ქცევის ფორმირებაში სკოლამდელი ასაკის ქართველ ბავშვებში.

ემოციური რეგულაციის განსაზღვრა: ემოციური რეგულაცია განიმარტება როგორც პროცესები, რომლებიც მოიცავს ემოციების მონიტორინგს, შეფასებას და მოდიფიკაციას ინდივიდის მიზნების მისაღწევად. Gross-ის (2015) პროცესუალური მოდელის თანახმად, ემოციური რეგულაცია მოიცავს როგორც ქცევით, ისე კოგნიტურ სტრატეგიებს, რომლებიც გავლენას ახდენენ ემოციის დასაწყისზე, ხანგრძლივობასა და ინტენსივობაზე.

განვითარების პერსპექტივიდან, ემოციური რეგულაციის უნარები გამოიყოფა როგორც თანდათანობითი ტრანზიცია გარე რეგულაციიდან შიდა, თვითრეგულირებული პროცესებისკენ (Kopp, 1989; Calkins & Hill, 2007). სკოლამდელ ასაკში ეს ტრანზიცია განსაკუთრებით ინტენსიურია, რაც დაკავშირებულია ტვინის წინა ნაწილის (პრეფრონტალური ქერქი) აქტიურ განვითარებასთან და კოგნიტური ფუნქციების განვითარებასთან (Zelazo & Carlson, 2012).

თვითრეგულაციის თეორიული საფუძვლები: თვითრეგულაცია წარმოადგენს უფრო ფართო კონსტრუქტს, რომელიც მოიცავს ინდივიდის უნარს მართოს საკუთარი აზრები, ემოციები და ქცევები მიზნების მისაღწევად (Zimmerman, 2000; Baumeister & Vohs, 2004). McClelland-ის და Cameron-ის (2012) თვითრეგულაციის ინტეგრირებული მოდელი გამოყოფს სამ ძირითად კომპონენტს: ემოციურ, კოგნიტურ და ქცევით რეგულაციას, რომლებიც ერთმანეთთან მჭიდრო კავშირშია და ერთმანეთის განვითარებას უწყობენ ხელს.

აღსანიშნავია, რომ თვითრეგულაციის კომპონენტები მჭიდროდ არის დაკავშირებული აღმასრულებელ ფუნქციებთან, რომლებიც მოიცავს სამუშაო მეხსიერებას, შემაკავებელ კონტროლს და კოგნიტურ მოქნილობას (Diamond, 2013; Carlson & Wang, 2007). ამ უნარების განვითარება სკოლამდელ ასაკში განსაზღვრავს ბავშვის აკადემიურ მზაობას და სოციალურ კომპეტენტურობას (Blair & Raver, 2015).

ემოციური რეგულაციისა და თვითრეგულაციის ურთიერთკავშირი: თანამედროვე კვლევები მიუთითებს ემოციური რეგულაციისა და თვითრეგულაციის მჭიდრო ურთიერთდაკავშირებაზე (Ursache et al., 2012; Graziano et al., 2007). Denham-ის და Weissberg-ის (2004) მოდელის თანახმად, ემოციური კომპეტენტურობა მოიცავს როგორც ემოციების ამოცნობის უნარს, ისე მათ რეგულაციას, რაც ფუნდამენტურ როლს თამაშობს თვითრეგულაციის სხვა ასპექტების განვითარებაში.

ნეიროფიზიოლოგიური კვლევები ადასტურებს, რომ ემოციური და კოგნიტური რეგულაციის პროცესები იყენებენ ტვინის ერთსა და იმავე უბნებს, განსაკუთრებით წინა ნაწილსა და ემოციურ ცენტრებს. ეს ნეირობიოლოგიური საფუძველი განაპირობებს ემოციური და ქცევითი კონტროლის ურთიერთდამოკიდებულებას.

კულტურული კონტექსტი და ემოციური განვითარება: მნიშვნელოვანია აღინიშნოს, რომ ემოციური რეგულაციის განვითარება ხდება კონკრეტულ კულტურულ კონტექსტში. კულტურული ნორმები განსაზღვრავს, თუ რომელი ემოციების გამოხატვა არის მისაღები, როგორ უნდა მოხდეს მათი რეგულირება და რა როლს თამაშობს ოჯახი ამ უნარების ჩამოყალიბებაში.

ქართული კულტურა, სადაც მნიშვნელოვანია ჯგუფური ღირებულებები და ურთიერთობები, გამოირჩევა სპეციფიკური მიდგომებით ბავშვთა ემოციური სოციალიზაციის კუთხით (Schwartz, 2006). ამიტომ, ემოციური რეგულაციის კვლევა ქართულ კონტექსტში მოითხოვს კულტურულად სენსიტიურ მიდგომას.

2. კვლევის მიზნები და ამოცანები

წინამდებარე კვლევის მთავარ მიზანს წარმოადგენს ემოციური რეგულაციის როლის ემპირიული შესწავლა თვითრეგულირებული ქცევის ფორმირებაში სკოლამდელი ასაკის ქართველ ბავშვებში. ამ ზოგადი მიზნის მისაღწევად ფორმულირებულია შემდეგი სპეციფიკური ამოცანები:

1. სკოლამდელი ასაკის ბავშვებში ემოციური რეგულაციის უნარების დონის შეფასება და ასაკობრივი დინამიკის განსაზღვრა. ამ ამოცანის ფარგლებში შესწავლილი იქნება, თუ როგორ იცვლება ემოციური რეგულაციის სხვადასხვა კომპონენტები 3-დან 6 წლამდე ასაკში.
2. თვითრეგულირებული ქცევის ძირითადი კომპონენტების შესწავლა. ფოკუსი გაკეთდება იმპულსურ კონტროლზე, ყურადღების რეგულაციაზე და ქცევის დაგეგმვის უნარებზე.
3. ემოციური რეგულაციისა და თვითრეგულაციის ურთიერთკავშირის ემპირიული ანალიზი. გამოყენებული იქნა კორელაციური ანალიზი ამ ორ ცვლადს შორის კავშირის დასადგენად.
4. ემოციურ კომპეტენტურობაზე გავლენის მქონე ფაქტორების იდენტიფიცირება. შესწავლილი იქნა ოჯახური გარემოს, მშობლების აღზრდითი სტილის და პედაგოგიური მიდგომების როლი.
5. გენდერული განსხვავებების გამოვლენა ემოციური რეგულაციისა და თვითრეგულაციის განვითარების დინამიკაში. ანალიზი მოიცავს როგორც რაოდენობრივ, ისე ხარისხობრივ განსხვავებებს.
6. პრაქტიკული რეკომენდაციების შემუშავება პედაგოგებისა და მშობლებისთვის. კვლევის შედეგების საფუძველზე ჩამოყალიბდება კონკრეტული რეკომენდაციები ემოციური კომპეტენტურობის ხელშეწყობისთვის.

3. კვლევის მეთოდოლოგია.

კვლევის დიზაინი - კვლევაში გამოყენებულია რაოდენობრივი კვლევის დიზაინი, სადაც მონაცემები შეგროვებულია ერთ დროის მონაკვეთში (თანაკვეთური მეთოდი) და გამოყენებულია კორელაციური ანალიზი ცვლადებს შორის კავშირების დასადგენად. ასეთი მეთოდოლოგიური მიდგომა საშუალებას იძლევა ერთდროულად შეფასდეს როგორც ემოციური რეგულაციის, ისე თვითრეგულაციის სხვადასხვა ასპექტები და გამოვლინდეს მათ შორის არსებული ურთიერთკავშირები.

მონაწილეები და შერჩევა - კვლევაში მონაწილეობდნენ სკოლამდელი ასაკის ბავშვები (3-6 წლის) ბათუმის სხვადასხვა საბავშვო ბაღიდან, მათ შორის ბათუმის 1 საჯარო ბაღიდან და კერძო სკოლის ბაზაზე არსებული სასკოლო მზაობის ჯგუფიდან. შერჩევა მოხდა მიზნობრივი, შემდეგ შემთხვევითი მიდგომით, რაც უზრუნველყოფს ნიმუშის ადეკვატურ რეპრეზენტატულობას.

კვლევაში სულ მონაწილეობდა 111 ბავშვი, მათ შორის 68 გოგონა (61.3%) და 43 ბიჭი (38.7%), ასაკი - 4-დან 6 წლამდე. კვლევაში მონაწილეობის კრიტერიუმებს აკმაყოფილებდნენ ტიპური განვითარების მქონე, ქართულენოვანი ბავშვები, რომელთაც ჰქონდათ საბავშვო ბაღში სიარულის არანაკლებ 6 თვის გამოცდილება და რომელთა მშობლებისგანაც მიღებული იყო ინფორმირებული თანხმობა კვლევაში მონაწილეობაზე. კვლევიდან გამოირიცხნენ ბავშვები,

რომლებსაც ჰქონდათ განვითარების დიაგნოსტირებული დარღვევები - მაგალითად, აუტიზმი, ინტელექტუალური შეფერხება და სხვა - ან სერიოზული ქრონიკული დაავადებები.

ასაკობრივი ჯგუფების სტრუქტურა მოიცავდა სამ კატეგორიას: 3-4 წლის ბავშვები, 4-5 წლის ბავშვები და 5-6 წლის ბავშვები. თითოეული ასაკობრივი ჯგუფი იყო დაბალანსებული გენდერული შემადგენლობის მიხედვით, რამაც მოგვცა გენდერული განსხვავებების ადეკვატური ანალიზის საშუალება.

კვლევაში ჩართული იყო ასევე 117 მშობელი - 89 (76%) დედა და 28 (24%) მამა და 14 აღმზრდელი-პედაგოგი.

მეთოდოლოგიური შეზღუდვები - კვლევის მეთოდოლოგიურ შეზღუდვას წარმოადგენს ის, რომ მონაწილეთა შერჩევა მოხდა ერთი საჯარო და ერთი კერძო დაწესებულებიდან და მონაცემები შეგროვდა ერთი დროის მონაკვეთში. ამ მიდგომის არჩევანი განპირობებული იყო რამდენიმე პრაქტიკული და მეთოდოლოგიური მიზეზით.

პირველ რიგში, ერთ დაწესებულებაში კვლევის ჩატარება უზრუნველყოფს სტანდარტიზაციის უკეთეს კონტროლს - პედაგოგები, გარემო პირობები და დღის რეჟიმი შედარებით ჰომოგენურია, რაც ამცირებს გარემო ფაქტორების გავლენას შედეგებზე და აადვილებს ცვლადების მკაფიო იზოლირებას. მეორე, ლოგისტიკური თვალსაზრისით, მრავალი დაწესებულების ჩართვა მოითხოვდა მნიშვნელოვნად უფრო დიდ დროსა და რესურსებს, განსაკუთრებით იმის გათვალისწინებით, რომ თითოეული ბავშვის ინდივიდუალური შეფასება საჭიროებდა 30-45 წუთს. მესამე, ადმინისტრაციული თანხმობისა და მშობლების ინფორმირებული თანხმობის მიღების პროცესი რამდენიმე დაწესებულებიდან მნიშვნელოვნად გაართულებდა კვლევის განხორციელებას.

თუმცა, მიუხედავად ორი ძირითადი ბაზისა, კვლევის ნიმუში მაინც წარმოადგენს ბათუმის სკოლამდელი პოპულაციის ადეკვატურ რეპრეზენტაციას რამდენიმე მიზეზით. კვლევაში ჩართული ორივე დაწესებულება ემსახურება მრავალფეროვან სოციო-ეკონომიკურ ფენებს, ამასთანავე, კერძო დაწესებულება - ავსებს ნიმუშს განსხვავებული საგანმანათლებლო მიდგომის მქონე კერძო დაწესებულების პერსპექტივით. კვლევის სპეციფიკის გათვალისწინებით, 111 მონაწილის ნიმუშის ზომა საკმარისია სტატისტიკური მნიშვნელობის მისაღწევად და ძირითადი ეფექტების გამოსავლენად. გარდა ამისა, ნიმუშის გენდერული და ასაკობრივი დაბალანსება უზრუნველყოფს შედეგების შიდა ვალიდურობას.

აღსანიშნავია, ისიც, რომ შეზღუდული რაოდენობის ბაზების გამოყენებას აქვს გარკვეული უპირატესობები, კერძოდ: საშუალებას იძლევა უკეთ შევისწავლოთ სიღრმისეული კავშირები და კონტექსტუალური ფაქტორები, რაც შეუძლებელი იქნებოდა ზედაპირულ, ფართომასშტაბიან გამოკითხვაში. პედაგოგებთან მჭიდრო თანამშრომლობა და ბავშვების ყოველდღიური ქცევის დეტალური დაკვირვება უფრო ზუსტ და საფუძვლიან მონაცემებს იძლევა, ვიდრე მრავალი დაწესებულების ზედაპირული შეფასება.

რაც შეეხება ორი დაწესებულებიდან მიღებული შედეგების უფრო ფართო პოპულაციაზე განზოგადების საკითხს, მიუხედავად იმისა, რომ ნიმუში მოდის ძირითადად ორი დაწესებულებიდან, გასათვალისწინებელია, რომ მასში მონაწილეთა რაოდენობა და ის ფაქტი, რომ კვლევის შედეგები თანხვედრაშია ემოციური რეგულაციისა და თვითრეგულაციის განვითარების მიმართულებით საერთაშორისო კვლევებთან, რაც მიუთითებს მიღებული შედეგების საფუძვლიანობაზე. თეორიული ჩარჩოს და კონცეპტუალური მოდელის გამოყენება, რომელიც დამტკიცებულია სხვადასხვა კულტურული კონტექსტის ფარგლებში, ასევე ზრდის შედეგების საიმედოობას.

აღნიშნულის მიუხედავად, მოიაზრება კვლევის მასშტაბის გაფართოება სხვადასხვა რეგიონიდან უფრო მეტი საბავშვო ბაღის ჩართვით და განსხვავებული სოციო-კულტურული კონტექსტების შედარება, რაც საშუალებას მოგვცემს უკეთ გავიგოთ ემოციური რეგულაციის განვითარების უნივერსალური და კულტურულად სპეციფიკური ასპექტები.

კვლევაში გამოყენებული შეფასების ინსტრუმენტები მოიცავდა როგორც სტანდარტიზებულ (საერთაშორისოდ აპრობირებული ტესტები), ასევე ადაპტირებულ მეთოდებს (ქართული კონტექსტისთვის მორგებული ვერსიები). უფრო კონკრეტულად, გამოყენებული იქნა იმპულსური კონტროლის დავალება, ემოციური რეგულაციის შეფასება, ყურადღების კონტროლისა, გადადებული კმაყოფილების დავალებები. კვლევის ფარგლებში გამოყენებული იქნა ასევე მშობლების კითხვარი, აღმზრდელი-პედაგოგების შეფასება.

1. ემოციების ამოცნობის დავალება - სახეების ამოცნობის ტესტი (Facial Recognition Task):

გამოყენებული იქნა სახეების ამოცნობის ტესტის (Ekman & Friesen, 1976) მოდიფიცირებული ვერსია, რომელიც სპეციალურად იყო ადაპტირებული სკოლამდელი ასაკისთვის. დავალება მოიცავდა 24 ფოტოსურათს, რომლებიც წარმოადგენდა ექვს ძირითად ემოციას - სიხარული, მწუხარება, გაბრაზება, შიში, გაკვირვება და ზიზღი. თითოეული ემოცია წარმოდგენილი იყო ოთხი განსხვავებული ფოტოთი, რაც უზრუნველყოფდა ბავშვების უნარის შემოწმებას ემოციის ამოცნობაში სხვადასხვა სახეებსა და გამომეტყველებებზე. ბავშვებს ინდივიდუალურად ეძლეოდათ თითოეული ფოტო და მოეთხოვებოდათ: ა) დაესახელებინათ ემოცია (ან აელწერათ, თუ ვერბალური უნარები შეზღუდული იყო) და ბ) მიეთითებინათ, რა სიტუაციაში შეიძლება ადამიანმა ასეთი ემოცია იგრძნოს.

შეფასების კრიტერიუმებად განსაზღვრული იყო:

- ემოციის სწორად იდენტიფიცირება (1 ქულა თითოეულ სწორ პასუხზე);
- კონტექსტის მითითების უნარი (დამატებითი ქულები).

(შეფასების კრიტერიუმები: მაქსიმალური ქულა: 24 და დამატებითი ქულები კონტექსტისთვის)

2. იმპულსური კონტროლის დავალება - ეს დავალება წარმოადგენს სკოლამდელი ასაკისთვის ადაპტირებულ ვერსიას კლასიკური „Simon Says“ თამაშისა (Strommen, 1973). დავალება აფასებს შემაკავებელ კონტროლს და ინსტრუქციების შერჩევით შესრულების უნარს. ბავშვებს უნდა შეესრულებინათ მოძრაობითი მითითებები (მაგ., „ხელები აიწიე“, „გადახედე“, „გადაახტი“) მხოლოდ მაშინ, როდესაც წინ უსწრებს სასიგნალო ფრაზა (ჩვენს შემთხვევაში ეს იყო - „ტედი ამბობს“. თუ ამ ფრაზის გარეშე იძლევა ინსტრუქცია, ბავშვმა არ უნდა შეასრულოს იგი.

დავალება მოიცავდა: 4 სავარჯიშო მცდელობას (უკუკავშირით), 20 საცდელ მცდელობას (10 „ტედი ამბობს“ და 10 - სასიგნალო ფრაზის გარეშე). მითითებები ერთმანეთს მიჰყვებოდა რანდომიზებულიად (შემთხვევითი თანმიმდევრობით), რაც გამორიცხავდა იმის წინასწარ პროგნოზირებას, თუ რომელ ინსტრუქციას უძლოდა წინ სასიგნალო ფრაზა.

(შეფასების კრიტერიუმები: სწორი პასუხების რაოდენობა (მაქს. 20), შეცდომების ტიპები, საშუალო რეაქციის დრო წამებში).

3. ყურადღების კონტროლის დავალება „დღე - ღამე“ (Day-Night Task): გამოყენებული იქნა Gerstadt-ის, Hong-ისა და Diamond-ის (1994) მიერ შემუშავებული დავალება, რომელიც აფასებს კოგნიტურ მოქნილობას და შემაკავებელ კონტროლს. დავალება მოიცავდა ორ ფაზას:

ფაზა 1 (ლოგიკური შესაბამისობა): ბავშვებმა უნდა თქვან „დღე“ მზის სურათზე და „ღამე“ მთვარის სურათზე. ეს წარმოადგენს ბუნებრივ, ლოგიკურ შესაბამისობას (8 მცდელობა);

ფაზა 2 (შეუსაბამობა): ინსტრუქცია იცვლება საპირისპიროდ - უნდა თქვან „დღე“ მთვარეზე და „ღამე“ მზეზე. ეს ფაზა მოითხოვს შემაკავებელ კონტროლს და კოგნიტურ მოქნილობას (8 მცდელობა).

ორივე ფაზაში სურათები წარედგინებოდა შემთხვევით რიგით (რანდომიზებულად), რაც გამორიცხავდა იმის შესაძლებლობას, რომ ბავშვები გარკვეულ კანონზომიერებას (პატერნს) გამოიცნობდნენ და პასუხობდნენ მის მიხედვით, ნაცვლად იმისა, რომ ყურადღებით აკვირდებოდნენ თითოეულ სურათს.

(შეფასების კრიტერიუმები: სწორი პასუხების რაოდენობა თითოეულ ფაზაში, ინტერფერენციის ეფექტი (განსხვავება ფაზებს შორის), რეაქციის დრო).

4. გადადებული კმაყოფილების დავალება (Marshmallow Test): გამოყენებული იქნა Mischel-ის და Ebbesen-ის (1970) კლასიკური ტესტის მოდიფიცირებული, კულტურულად ადაპტირებული ვერსია. ბავშვს ვთავაზობდით ერთ სასურველ ობიექტს (ტკბილეულს, სათამაშოს, სტიკერს - ბავშვის სურვილის გათვალისწინებით) დაუყოვნებლივ, ან ორს - თუ მოითმენდა 10 წუთს. ამ დროს ვტოვებდით ოთახს და ბავშვი რჩებოდა მარტო (მონიტორინგით). ფიქსირდებოდა მოლოდინის დრო წამებში (0-600), ბავშვის მიერ გამოყენებული სტრატეგიები (ყურადღების გადატანა, თვითდამშვიდება და სხვა) და ბავშვის ქცევითი რეაქციები.

5. მშობლების გამოკითხვა: მშობლებისთვის შემუშავებული იქნა სტრუქტურირებული კითხვარი, რომელიც აფასებდა:

- მშობლის დემოგრაფიულ მონაცემებს (ასაკი, განათლება, სოცო-ეკონომიკური სტატუსი);
- მშობლის ემოციურ კომპეტენტურობას (ადაპტირებული სკალები);
- აღზრდის სტილს (Parenting Styles and Dimensions Questionnaire-ის ელემენტები);
- ემოციური სოციალიზაციის პრაქტიკებს;
- ოჯახურ გარემოს (სტრესული ფაქტორები, მხარდაჭერის რესურსები).

გამოკითხვა ჩატარდა ონლაინ ფორმატით და მასში მონაწილეობა მიიღო ასევე 117-მა მშობელმა, მათ შორის 89 (76%) დედამ და 28 (24%) მამამ. აღსანიშნავია, რომ გამოკითხვაში ჩატარდა მშობლების წინასწარი ინფორმირების და თანხმობის საფუძველზე და მასში მონაწილეობა იყო ნებაყოფლობითი.

6. აღზრდელ-პედაგოგების მიერ შეფასებების გაკეთება: კვლევაში ჩართული დაწესებულებების 14-მა აღზრდელმა-პედაგოგმა, რომლებიც უშუალოდ მუშაობდნენ კვლევაში ჩართულ ბავშვებთან, შეავსო სპეციალურად შემუშავებული კითხვარი - Emotion Regulation Checklist-ის (Shields & Cicchetti, 1997) ქართულად ადაპტირებული ვერსია. კითხვარი თითოეული ბავშვისთვის ივსებოდა ინდივიდუალურად და აფასებდა მას შემდეგი მიმართულებით:

- ემოციური რეგულაცია ყოველდღიურ სიტუაციებში;
- ემოციური არამდგრადობა/უარყოფითი ემოციები;
- ემოციური მგრძნობელობა;
- სოციალური ქცევა.

კვლევა ჩატარდა რამდენიმე ეტაპად:

ეტაპი 1 - მოსამზადებელ ეტაპზე მოხდა საბავშვო ბაღების ადმინისტრაციასთან შეთანხმება, მშობლების ინფორმირება და თანხმობის მიღება და კვლევების ჩატარებაზე პასუხისმგებელ პირებთან ჩატარდა შეხვედრები კვლევის სტანდარტიზებული პროცედურებისთვის.

ეტაპი 2 - მონაცემების შეგროვების ეტაპზე ჩატარდა ინდივიდუალური სესიები ბავშვებთან (30-45 წუთი თითოეულთან), დავალებების ჩატარება სტანდარტიზებულ გარემოში (ბაღის

ცალკე ოთახი), მშობლების კითხვარების შევსება და აღმზრდელ-პედაგოგების შეფასებების მოპოვება.

ეტაპი 3 - მონაცემთა დამუშავებისა და ანალიზის ეტაპზე განხორციელდა მონაცემთა კოდირება და ციფრული ბაზის შექმნა, მონაცემების ხარისხის კონტროლი, შესაბამისობის შემოწმება და მონაცემების ანალიზი.

ეთიკური ნორმები: კვლევა ჩატარდა კვლევის ეთიკის სტანდარტების შესაბამისად. კერძოდ, მიღებული იქნა ინფორმირებული თანხმობა დაწესებულებების ადმინისტრაციისგან და მშობლებისგან, ასევე ვერბალური თანხმობა თავად მოზარდებისგან. უზრუნველყოფილი იქნა კონფიდენციალურობა და ანონიმურობა. კვლევის მონაწილეებს უფლება ჰქონდათ ნებისმიერ დროს უარი ეთქვათ მონაწილეობაზე. კვლევაში არ გამოყენებულა სტრესის გამომწვევი პროცედურები. კვლევის შედეგების საფუძველზე უკუკავშირი მიეწოდა მშობლებსა და პედაგოგებს. კვლევის მონაცემები ინახება დაშიფრული სახით და ისინი განადგურდება ნაშრომის გამოქვეყნების შემდეგ.

მონაცემთა ანალიზისთვის გამოყენებული იქნა შემდეგი სტატისტიკური მეთოდები:

1. **აღწერითი სტატისტიკა:** საშუალო მნიშვნელობები, სტანდარტული გადახრები, ნორმალური განაწილების შემოწმება;
2. **კორელაციური ანალიზი:** კორელაციის კოეფიციენტები (Pearson) ემოციური რეგულაციისა და თვითრეგულაციის მაჩვენებლებს შორის;
3. **ვარიაციული ანალიზი (ANOVA):** ასაკობრივი და გენდერული განსხვავებების შესწავლა;
4. **რეგრესიული ანალიზი:** ემოციური რეგულაციის გავლენის შეფასება თვითრეგულაციის სხვადასხვა კომპონენტებზე - რამდენად იწინასწარმეტყველებს ემოციური უნარები ქცევითი კონტროლის უნარებს;
5. **ფაქტორული ანალიზი:** ემოციური კომპეტენტურობის სტრუქტურის შესწავლა და
6. სტატისტიკური მნიშვნელობის დონის განსაზღვრა.

3. კვლევის შედეგები.

ემოციური რეგულაციის ასაკობრივი განვითარება - შედეგების ანალიზმა გამოავლინა სტატისტიკურად მნიშვნელოვანი ასაკობრივი განსხვავებები ემოციური რეგულაციის სხვადასხვა კომპონენტში. ემოციების ამოცნობის უნარი აჩვენებს თანმიმდევრულ გაუმჯობესებას ასაკთან ერთად: 3-4 წლის ბავშვებმა საშუალოდ სწორად ამოიცნეს 15.3 ემოცია 24-დან (63.8%), 4-5 წლისებმა - 18.7 (77.9%), ხოლო 5-6 წლის ასაკობრივმა ჯგუფმა - 20.8 (86.7%). შედეგების ვარიაციული ანალიზი ადასტურებს ამ განსხვავებების სტატისტიკურ მნიშვნელობას.

განსაკუთრებით მკვეთრი პროგრესი შეინიშნება 4-5 წლის ასაკში, რაც ასახავს ემოციური კოდების დამუშავების კოგნიტური მექანიზმების ინტენსიურ მომწიფებას ამ პერიოდში. ემოციების კატეგორიების მიხედვით ანალიზმა აჩვენა, რომ დადებითი ემოციები, კერძოდ სიხარული ამოიცნობა უფრო ადრე და უფრო ზუსტად (საშუალო ამოცნობა: 92.3%), ვიდრე უარყოფითი ემოციები. უარყოფით ემოციებს შორის მწუხარება და გაბრაზება ამოიცნობა შედარებით ადვილად (78.5% და 74.2% შესაბამისად), ხოლო შიში და ზიზღი უფრო რთულად ამოსაცნობი აღმოჩნდა სკოლამდელი ასაკის ბავშვებისთვის (68.3% და 61.7%).

კონტექსტუალიზაციის უნარი - ანუ უნარი აიხსნას, რა სიტუაციაში შეიძლება წარმოიქმნას კონკრეტული ემოცია - ასევე აჩვენებს ასაკობრივ პროგრესს. 3-4 წლის ბავშვები ხშირად ვერ ხსნიან ემოციურ კონტექსტს ან იძლევიან ძალიან კონკრეტულ, პირად გამოცდილებასთან

დაკავშირებულ პასუხებს, მაშინ როცა 5-6 წლის ასაკში ბავშვები უკვე უფრო აბსტრაქტულად და მრავალფეროვნად ხსნიან ემოციური რეაქციების შესაძლო მიზეზებს.

თვითრეგულაციის კომპონენტების განვითარება - იმპულსურმა კონტროლმა („Teddy Says” დავალება) აჩვენა გამოკვეთილი ასაკობრივი განსხვავებები. 3-4 წლის ბავშვებმა საშუალოდ სწორად შეასრულეს 11.2 მცდელობა 20-დან (56%), 4-5 წლისებმა - 14.6 (73%), ხოლო 5-6 წლისებმა - 16.8 (84%). შედეგების სტატისტიკური ანალიზი ადასტურებს მნიშვნელოვან ასაკობრივ ეფექტს. შეცდომების ტიპების ანალიზმა აჩვენა, რომ უმცროსი ბავშვები უფრო ხშირად უშვებენ კომისიის შეცდომებს - რეაგირებენ მაშინ, როდესაც არ უნდა, რაც მიუთითებს შემაკავებელი კონტროლის ჯერ კიდევ განვითარების ეტაპზე არსებობას. უფროსი ბავშვები კი უფრო ხშირად უშვებენ შეცდომებს - არ რეაგირებენ მაშინ, როდესაც უნდათ, რაც შეიძლება დაკავშირებული იყოს ზედმეტად ფრთხილი სტრატეგიის გამოყენებასთან.

ყურადღების კონტროლის („Day-Night Task”) დავალებამ ნათლად გამოავლინა კოგნიტური მოქნილობის განვითარება. კონგრუენტულ, ანუ ლოგიკურ პირობაში ყველა ასაკობრივი ჯგუფი აჩვენებდა მაღალ შესრულებას (საშუალოდ 85-95% სისწორე). თუმცა, ინკონგრუენტულ, ანუ საპირისპირო პირობაში შედეგები მნიშვნელოვნად განსხვავდებოდა: 3-4 წლის ბავშვების 48%-მა სწორად შეასრულა დავალება, 4-5 წლის ბავშვებიდან - 72%-მა, ხოლო 5-6 წლის ბავშვებიდან - 86%-მა. ინტერფერენციის ეფექტი, რომელიც ასახავს ორ პირობას შორის განსხვავებას და შემაკავებელი კონტროლის ხარისხს, თანმიმდევრულად მცირდება ასაკთან ერთად: 3-4 წლის ასაკში ის შეადგენს 37 პროცენტულ პუნქტს, 4-5 წლის ასაკში - 18 პროცენტულ პუნქტს, ხოლო 5-6 წლის ასაკში - მხოლოდ 9 პროცენტულ პუნქტს.

გადადებული კმაყოფილების (Marshmallow Test) დავალებამ გამოავლინა მნიშვნელოვანი განსხვავებები თვითკონტროლის უნარში. 3-4 წლის ბავშვებმა საშუალოდ მოითმინეს 3.2 წუთი 10 წუთიდან, მაშინ როცა მხოლოდ 15%-მა მიაღწია სრულ 10 წუთს. 4-5 წლის ასაკობრივ ჯგუფში საშუალო მოლოდინის დრო გაიზარდა 6.4 წუთამდე, ხოლო 38%-მა მოითმინა სრული პერიოდი. 5-6 წლის ბავშვებმა საშუალოდ მოითმინეს 8.1 წუთი, 62%-მა კი წარმატებით გაიარა სრული ტესტი. საინტერესოა, რომ დაფიქსირდა ბავშვების მიერ გამოყენებული განსხვავებული სტრატეგიები: უფროსი ბავშვები უფრო ხშირად ახდენდნენ ყურადღების გადატანას - თამაშობდნენ, მღეროდნენ, ათვალიერებდნენ ოთახს, ხოლო უმცროსი ბავშვები უფრო ხშირად თვალების კონცენტრაციას ახდენდნენ უშუალოდ სასურველ ობიექტზე, რაც ართულებდა მოლოდინს.

ემოციური რეგულაციისა და თვითრეგულაციის ურთიერთკავშირი - კორელაციური ანალიზის შედეგებმა დაადასტურა კვლევის მთავარი ჰიპოთეზა - ემოციური რეგულაციისა და თვითრეგულაციის მჭიდრო, დადებითი ურთიერთკავშირი. ემოციების ამოცნობის უნარი სტატისტიკურად მნიშვნელოვან კორელაციაშია თვითრეგულაციის ყველა მაჩვენებელთან: იმპულსური კონტროლი, Day-Night დავალება ინკონგრუენტულ პირობაში და გადადებული კმაყოფილება. ემოციური კონტექსტის გაგება ასევე მნიშვნელოვან კორელაციაშია თვითრეგულაციის ასპექტებთან: იმპულსური კონტროლი, Day-Night დავალება და გადადებული კმაყოფილება.

პედაგოგების მიერ შეფასებული ემოციური რეგულაცია ყოველდღიურ სიტუაციებში აჩვენებდა ძლიერ კავშირს თვითრეგულაციის ლაბორატორიულ მაჩვენებლებთან, რაც მიუთითებს ამ უნარების ტრანსფერზე, ანუ გადატანაზე სხვადასხვა კონტექსტში. განსაკუთრებით აღსანიშნავია ის ფაქტი, რომ ემოციური არასტაბილურობის მაღალი მაჩვენებელი

უარყოფით კორელაციაშია თვითრეგულაციის შესრულებასთან, რაც ადასტურებს, რომ ემოციურ სფეროში არსებული სირთულეები უარყოფითად აისახება თვითკონტროლის უნარებზე.

იერარქიული რეგრესიული ანალიზის შედეგებმა აჩვენა, რომ ემოციური რეგულაციის მაჩვენებლებს მნიშვნელოვანი წვლილი შეაქვს თვითრეგულაციის შესრულების პროგნოზირებაში, ასაკისა და სხვა დემოგრაფიული ფაქტორების გათვალისწინების შემდეგაც კი. იმპულსური კონტროლის დისპერსიის 34% აიხსნება ემოციების ამოცნობის უნარით, ხოლო 8% - ემოციური კონტექსტის გაგებით. საერთო ჯამში, ემოციური კომპეტენტურობა ახსნა იმპულსური კონტროლის ვარიაციის 42%-მა. ყურადღების კონტროლისთვის ემოციური რეგულაციის მაჩვენებლები ხსნის Day-Night დავალების შესრულების 38%-ს, რაც მიუთითებს ემოციური და კოგნიტური კონტროლის მჭიდრო ინტეგრაციაზე. გადადებული კმაყოფილებისთვის ემოციური რეგულაცია ახსნა დისპერსიის 26%-მა, რაც ნათელს ხდის, რომ ემოციების მართვის უნარი მნიშვნელოვან როლს თამაშობს სურვილების გადადებაში.

გენდერული განსხვავებები და გარემო ფაქტორები - კვლევამ გამოავლინა გარკვეული გენდერული განსხვავებები, თუმცა ისინი არ იყო ერთგვაროვანი ყველა მაჩვენებელზე. ემოციების ამოცნობაში გოგონები საშუალოდ უფრო მაღალ შედეგს აჩვენებდნენ (საშუალო არითმეტიკული - 19.2) ბიჭებთან შედარებით (საშუალო არითმეტიკული - 17.8), განსხვავება სტატისტიკურად მნიშვნელოვანი იყო. ეს განსხვავება განსაკუთრებით გამოხატული იყო რთული ემოციების, (შიში და ზიზღი) ამოცნობისას. იმპულსურ კონტროლში არ გამოვლინდა მნიშვნელოვანი გენდერული განსხვავება, რაც მიუთითებს, რომ ეს უნარი თანაბრად ვითარდება ორივე სქესის წარმომადგენლებში ამ ასაკობრივ პერიოდში. ყურადღების კონტროლში გოგონები მცირედ უკეთესად ასრულებდნენ Day-Night დავალებას, თუმცა განსხვავება არ იყო სტატისტიკურად მნიშვნელოვანი, მაგრამ აჩვენებდნენ უკეთეს შედეგს ინკონგრუენტულ პირობაში. გადადებულ კმაყოფილებაში არ გამოვლინდა სტატისტიკურად მნიშვნელოვანი გენდერული განსხვავება, თუმცა დაფიქსირდა, რომ გოგონები უფრო ხშირად იყენებდნენ აქტიურ სტრატეგიებს, როგორცაა ყურადღების გადატანა, ხოლო ბიჭები - პასიურ მოლოდინს.

მშობლების კითხვარის ანალიზმა გამოავლინა მნიშვნელოვანი კავშირები ოჯახურ გარემოსა და ბავშვის ემოციურ კომპეტენტურობას შორის. მშობლების საკუთარი ემოციური რეგულაციის მაღალი მაჩვენებლები დადებით კორელაციაშია ბავშვების ემოციურ უნარებთან, რაც მიუთითებს ემოციური კომპეტენტურობის ინტერგენერაციულ გადაცემაზე. ემოციურ განათლებაზე ორიენტირებული მშობლები, რომლებიც აქტიურად ეხმარებიან ბავშვებს ემოციების ამოცნობასა და სახელდებაში, ჰყავთ ბავშვები უკეთესად განვითარებული ემოციური რეგულაციით. განსაკუთრებით ეფექტური აღმოჩნდა „ემოციური ქოუჩინგის“ მიდგომა - როდესაც მშობელი ემოციურ სიტუაციებს იყენებს როგორც სწავლების საშუალებას. ავტორიტეტული აღმზრდელობითი სტილის მქონე მშობლების ბავშვები, სადაც ერთდროულად დაბალანსებულია თბილი მიდგომა და მკაფიო საზღვრებიც, აჩვენებდნენ მაღალ შედეგებს როგორც ემოციურ, ისე თვითრეგულაციის დავალებებში, მაშინ როცა ავტორიტარული ან უგულვებელმყოფელი სტილი დაკავშირებული იყო უფრო დაბალ შესრულებასთან. ოჯახებში, სადაც იყო მაღალი დონის სტრესი - ეკონომიკური სირთულეები ან ოჯახური კონფლიქტები - ბავშვები აჩვენებდნენ უფრო დაბალ შედეგებს როგორც ემოციურ, ისე თვითრეგულაციის დავალებებში.

პედაგოგიური გარემოს როლის შესწავლამ აჩვენა, რომ ბაღებში, სადაც პედაგოგები აქტიურად მუშაობდნენ ემოციურ განათლებაზე - ჰქონდათ სპეციალური აქტივობები ემოციების შესახებ და მოდელირებდნენ ემოციურ რეგულაციას - ბავშვები აჩვენებდნენ უკეთეს შედეგებს. ასევე, ნათელი და თანმიმდევრული დღის რეჟიმი და სტრუქტურის პროგნოზირებადობა დაკავშირებული იყო თვითრეგულაციის უკეთეს მაჩვენებლებთან. ამრიგად, წინამდებარე კვლევის შედეგები ადასტურებს და აღრმავებს ჩვენს ვარაუდს ემოციური რეგულაციის როლის შესახებ თვითრეგულირებული ქცევის ფორმირებაში სკოლამდელ ასაკში.

4. დასკვნები:

ა) ემოციური რეგულაციის ფუნდამენტური როლი. კვლევამ დაადასტურა, რომ ემოციური რეგულაციის უნარები წარმოადგენს თვითრეგულაციის სხვა ასპექტების განვითარების საფუძველს. ეს მოსაზრება თანხვედრაშია Gross-ის (2015) პროცესუალურ მოდელთან და Blair-ისა და Raver-ის (2015) ნეიროკოგნიტურ მოდელთან, რომლებიც ხაზს უსვამენ ემოციური და კოგნიტური კონტროლის ინტეგრაციას. დადებითი კორელაციები ემოციური რეგულაციისა და თვითრეგულაციის სხვადასხვა ასპექტებს შორის მიუთითებს, რომ ეს უნარები არა მხოლოდ თანაარსებობენ, არამედ მჭიდროდ არიან ურთიერთდაკავშირებული და ერთმანეთის განვითარებას უწყობენ ხელს. განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია, რომ ემოციების ამოცნობის უნარი - როგორც ემოციური კომპეტენტურობის ყველაზე ბაზისური კომპონენტი - ყველაზე ძლიერ კავშირს აჩვენებდა კოგნიტურ მოქნილობასთან, რაც ადასტურებს, რომ ემოციური ინფორმაციის დამუშავების უნარი საფუძველს წარმოადგენს უფრო კომპლექსური თვითრეგულაციის უნარებისთვის.

ბ) 4-5 წლის ასაკი, როგორც კრიტიკული პერიოდი. კვლევის შედეგებმა გამოავლინა, რომ 4-5 წლის ასაკში ხდება ემოციური და თვითრეგულაციის უნარების ყველაზე ინტენსიური განვითარება. ამ ასაკში დაფიქსირებული პროგრესი გაცილებით დიდი იყო, ვიდრე 3-4 წლის ან 5-6 წლის პერიოდში. ეს მოსაზრება შეესაბამება ნეირო-სამეცნიერო კვლევებს (Zelazo & Carlson, 2012). ამ კრიტიკული პერიოდის იდენტიფიცირება უდიდეს პრაქტიკულ მნიშვნელობას იძენს ინტერვენციის პროგრამების დაგეგმვისთვის - სწორედ 4-5 წლის ასაკი წარმოადგენს ოპტიმალურ „ფანჯარას“ სამიზნე ჩარევებისთვის.

გ) ოჯახური გარემოს გადამწყვეტი როლი. კვლევამ დაადასტურა მშობლების ემოციური კომპეტენტურობისა და აღმზრდელობითი სტილის მნიშვნელოვანი როლი ბავშვის ემოციური რეგულაციის ჩამოყალიბებაში. განსაკუთრებით საინტერესოა „ემოციური ქოუჩინგის“ მიდგომის ეფექტურობა - როდესაც მშობლები იყენებენ ემოციურ სიტუაციებს როგორც სწავლების შესაძლებლობას. ეს მიგნება შესაბამისობაშია Gottman-ისა და DeClaire-ის (1997) კვლევებთან და ხაზს უსვამს, რომ ემოციური კომპეტენტურობა არის სწავლებადი უნარი, რომელიც ყალიბდება სოციალურ ინტერაქციებში. საყურადღებოა, რომ მშობლების ემოციური კომპეტენტურობის გავლენა ბავშვებზე უფრო ძლიერი იყო, ვიდრე სოციო-ეკონომიკური სტატუსის გავლენა, რაც მიუთითებს, რომ უფრო მნიშვნელოვანია „როგორ“ ურთიერთობენ მშობლები ბავშვებთან, ვიდრე მატერიალური რესურსები.

დ) გენდერული განსხვავებების ინტერპრეტაცია

კვლევამ გამოავლინა გარკვეული გენდერული განსხვავებები, რომლებიც საჭიროებს ფრთხილ ინტერპრეტაციას. გოგონების უპირატესობა ემოციების ამოცნობაში შეესაბამება ლიტერატურულ მონაცემებს (McClure, 2000; Hall & Matsumoto, 2004) და შეიძლება ასახავდეს როგორც ბიოლოგიურ განსხვავებებს, ისე სოციალიზაციის პროცესებს - საზოგადოებაში გოგონებს

უფრო ხშირად წახალისებენ ემოციურ ექსპრესიის და ემპათიის შემთხვევებზე. თუმცა, მნიშვნელოვანია აღინიშნოს, რომ გენდერული განსხვავებები არ იყო ერთგვაროვანი ყველა მაჩვენებელზე. იმპულსურ კონტროლსა და გადადებულ კმაყოფილებაში არ დაფიქსირდა მნიშვნელოვანი განსხვავებები, რაც ეწინააღმდეგება სტერეოტიპს, რომ ბიჭებს ნაკლებად შეუძლიათ თვითკონტროლი. ეს მიგნება მიუთითებს, რომ გენდერული განსხვავებები უფრო სპეციფიკურია და დამოკიდებულია კონკრეტულ უნარზე, ვიდრე თვითრეგულაციის ზოგად შესაძლებლობაზე.

5. რეკომენდაციები:

პედაგოგებისთვის - მნიშვნელოვანია ემოციური განათლება ბუნებრივად ჩართონ ყოველდღიურ აქტივობებში, მაგალითად „ემოციების კუთხის“ მოწყობით, სადაც ბავშვები შეძლებენ თავიანთ გრძნობებზე ფიქრსა და მუშაობას. განსაკუთრებით 4-5 წლის ასაკში აუცილებელია აქცენტი გადავიდეს ემოციურ რეგულაციაზე სტრუქტურირებული თამაშების საშუალებით, ხოლო პროგნოზირებადი დღის რეჟიმი და დამშვიდების სპეციალური ზონები ბავშვებს უსაფრთხოების გრძნობას შესძენს. არანაკლებ მნიშვნელოვანია პედაგოგი თავად იქცეს მოდელად და საკუთარი ემოციური რეგულაციის პროცესი გახადოს ხილული მაგალითი ბავშვებისთვის.

მშობლებისთვის - რეკომენდირებულია ემოციური ქოუჩინგის მიდგომა, როდესაც ისინი არა მხოლოდ ასახელებენ ბავშვის ემოციებს, არამედ ეხმარებიან მათ რეგულაციის სტრატეგიების დაუფლებაში. ამისთვის საჭიროა მშობლებმა თავად განავითარონ საკუთარი ემოციური კომპეტენტურობა, რათა ბავშვისთვის ცოცხალი მოდელი გახდნენ. ავტორიტეტული აღმზრდელობითი სტილი - თბილი, ემპათიური მიდგომისა და მკაფიო, თანმიმდევრული საზღვრების ბალანსი - ყველაზე ეფექტურია ემოციური კომპეტენტურობის ჩამოსაყალიბებლად. ემოციების თამაშებისა და სუნთქვის სავარჯიშოების რეგულარული პრაქტიკა კი ამ პროცესის ბუნებრივ ნაწილად უნდა იქცეს.

განათლების სისტემის დონეზე აუცილებელია ემოციური განათლება მკაფიოდ ინტეგრირდეს კურიკულუმში, განსაკუთრებული ყურადღებით 4-5 წლის ასაკის ჯგუფისადმი, სადაც ფორმირების კრიტიკული პერიოდია. ამისთვის საჭიროა პედაგოგთა სისტემატური ტრენინგები და პრაქტიკული სახელმძღვანელოების შემუშავება, რომლებიც მათ ყოველდღიურ სამუშაოში გამოადგებათ. პარალელურად მნიშვნელოვანია მშობლებისთვის ქართულენოვანი, ხელმისაწვდომი რესურსების შექმნა - ბროშურების, ვიდეოების და სხვა მასალების სახით. დასასრულს, სტანდარტიზებული შეფასების ინსტრუმენტების ქართული ვერსიების ადაპტაცია საშუალებას მოგვცემს მიმდინარე პროცესების ეფექტურობა ობიექტურად შევაფასოთ და საჭიროების შემთხვევაში დროულად შევიტანოთ კორექტივები.

გამოყენებული ლიტერატურა:

1. ქურხული, ლ., & არჩვაძე, ნ. (2024). *ბავშვის ემოციების ფსიქოლოგია. მწიგნობარი*.
2. ჯიჯავაძე, ნ., & კუხალიშვილი, თ. (2019). *ადრეული და სკოლამდელი განათლების ხარისხის სტანდარტის გზამკვლევი*. UNICEF.
3. Baumeister, R. F., & Vohs, K. D. (2004). *Handbook of self-regulation: Research, theory, and applications*. Guilford Press.
4. Blair, C., & Raver, C. C. (2015). School readiness and self-regulation: A developmental psychobiological approach. *Annual Review of Psychology*, 66, 711-731.

5. Calkins, S. D., & Hill, A. (2007). Caregiver influences on emerging emotion regulation: Biological and environmental transactions in early development. In J. J. Gross (Ed.), *Handbook of emotion regulation* (pp. 229-248). Guilford Press.
6. Carlson, S. M., & Wang, T. S. (2007). Inhibitory control and emotion regulation in preschool children. *Cognitive Development*, 22(4), 489-510.
7. Cole, P. M., & Tan, P. Z. (2007). Emotion socialization from a cultural perspective. In J. E. Grusec & P. D. Hastings (Eds.), *Handbook of socialization: Theory and research* (pp. 516-542). Guilford Press.
8. Denham, S. A., & Weissberg, R. P. (2004). Social-emotional learning in early childhood: What we know and where to go from here. In E. Chesebrough, P. King, T. P. Gullotta, & M. Bloom (Eds.), *A blueprint for the promotion of prosocial behavior in early childhood* (pp. 13-50). Kluwer Academic/Plenum Publishers.
9. Diamond, A. (2013). Executive functions. *Annual Review of Psychology*, 64, 135-168.
10. Gottman, J. M., & DeClaire, J. (1997). *Raising an emotionally intelligent child: The heart of parenting*. Simon & Schuster.
11. Graziano, P. A., Reavis, R. D., Keane, S. P., & Calkins, S. D. (2007). The role of emotion regulation in children's early academic success. *Journal of School Psychology*, 45(1), 3-19.
12. Gross, J. J. (2015). Emotion regulation: Current status and future prospects. *Psychological Inquiry*, 26(1), 1-26.
13. Hall, J. A., & Matsumoto, D. (2004). Gender differences in judgments of multiple emotions from facial expressions. *Emotion*, 4(2), 201-206.
14. Kopp, C. B. (1989). Regulation of distress and negative emotions: A developmental view. *Developmental Psychology*, 25(3), 343-354.
15. McClelland, M. M., & Cameron, C. E. (2012). Self-regulation in early childhood: Improving conceptual clarity and developing ecologically valid measures. *Child Development Perspectives*, 6(2), 136-142.
16. McClure, E. B. (2000). A meta-analytic review of sex differences in facial expression processing and their development in infants, children, and adolescents. *Psychological Bulletin*, 126(3), 424-453.
17. Schwartz, S. H. (2006). A theory of cultural value orientations: Explication and applications. *Comparative Sociology*, 5(2-3), 137-182.
18. Ursache, A., Blair, C., & Raver, C. C. (2012). The promotion of self-regulation as a means of enhancing school readiness and early achievement in children at risk for school failure. *Child Development Perspectives*, 6(2), 122-128.
19. Zelazo, P. D., & Carlson, S. M. (2012). Hot and cool executive function in childhood and adolescence: Development and plasticity. *Child Development Perspectives*, 6(4), 354-360.
20. Zimmerman, B. J. (2000). Attaining self-regulation: A social cognitive perspective. In M. Boekaerts, P. R. Pintrich, & M. Zeidner (Eds.), *Handbook of self-regulation* (pp. 13-39). Academic Press.

The Role of Emotion Management in the Formation of Self-Regulated Behavior in Preschool Age

Anano Diasamidze¹, Natia Makaradze², Nana Makaradze³

¹American International School Progress LLC - Batumi

²A(A)IPE Batumi Kindergarten Union Batumi Kindergarten No. 35 Head

³Batumi Shota Rustaveli State University

ananodiasamidze17@gmail.com , nmakaradze73@gmail.com , nmakaradze@bsu.edu.ge

Abstract

Preschool age is a particularly important period in a child's development, as it is during this time that fundamental skills for academic, social, and psychological functioning are formed. Among these skills, emotional regulation plays a special role, as it is the basis for the development of self-regulated behavior. The present study is concerned with the study of the role of emotional regulation in the formation of self-regulated behavior in Georgian preschool children, which will complement the existing knowledge in this direction in the Georgian context. The research methodology is based on a quantitative design. Standardized and adapted assessment tools were used to collect data, including the emotion recognition task, the impulse control test, the attention control task, the delayed gratification test, a parent questionnaire, and assessments by educators. The results of the study confirmed the close positive relationship between emotional regulation and self-regulation, revealed the age of 4-5 years as a critical period and the decisive role of the family environment in the formation of emotional competence. The practical significance of the study lies in the development of specific, empirically substantiated and culturally adapted recommendations for teachers and parents to promote emotional competence, taking into account the Georgian educational context.

Keywords: preschool age, emotional regulation, self-regulation, emotional competence, impulse control, attention regulation

ხელოვნური ინტელექტის (AI) გამოყენება გუნდურ სპორტში - ტრავმების პროგნოზირება და ვარჯიშის ოპტიმიზაცია

ბესიკ ციცაგი

ბათუმის შოთა რუსთაველის სახელმწიფო უნივერსიტეტი

besik.tsitsagi@bsu.edu.ge

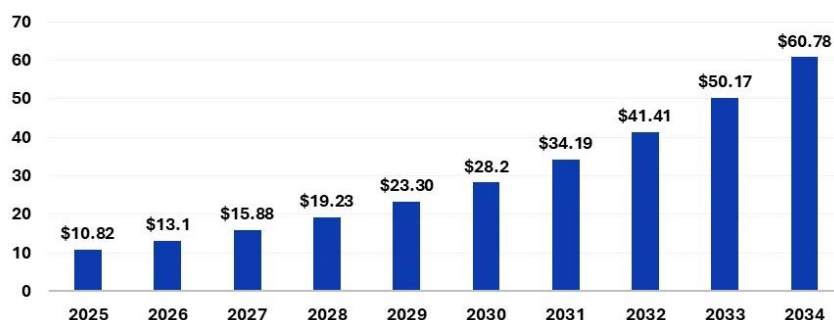
რეზიუმე

ნაშრომში განხილულია ხელოვნური ინტელექტის (AI) გამოყენების შესაძლებლობა გუნდურ სპორტში, კერძოდ მისი როლი ფოკუსირებულია ტრავმების პროგნოზირებასა და ვარჯიშის ოპტიმიზაციაზე. დახასიათებული და გაანალიზებულია უახლესი ტრენდები, როგორცაა მულტიმოდალური მონაცემთა ანალიზი, ღრმა სწავლის ალგორითმები და ტარებადი მოწყობილობების და შესაბამისი ტექნოლოგიების ინტეგრაცია. ნაშრომი ეყრდნობა საერთაშორისო გამოცდილებას ფეხბურთში, კალათბურთსა და რაგბში, ასევე განიხილავს ეთიკურ და ტექნოლოგიურ გამოწვევებს. კვლევა ხაზს უსვამს AI-ის მნიშვნელობას სპორტსმენთა ჯანმრთელობის დაცვისა და გუნდური ეფექტურობის გაუმჯობესებისთვის, განსაკუთრებით საინტერესოა საქართველოს სპორტის კონტექსტში.

საკვანძო სიტყვები: სპორტი, ხელოვნური ინტელექტი, ტრავმები, ვარჯიშის დაგეგმვა

1. შესავალი

XXI საუკუნეში სპორტი სულ უფრო მონაცემებზე დაფუძნებული ხდება, ხოლო ხელოვნური ინტელექტი (AI) 2025 წლისთვის გახდა სპორტის ინდუსტრიის განუყოფელი ნაწილი. განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია AI-ის გამოყენება გუნდურ სპორტებში, სადაც მაღალია ტრავმების რისკი, ხოლო გუნდის წარმატება დამოკიდებულია ინდივიდუალური და კოლექტიური მაჩვენებლების ოპტიმიზაციაზე. გლობალური მონაცემებით, AI-ის ბაზარი სპორტში 2025 წელს 10.82 მილიარდ აშშ დოლარს აღწევს, ხოლო მომავალი წლები მისი ზრდის პერსპექტივას გვპირდება.



ნახ.1 AI-ის ბაზარი სპორტში გლობალური მონაცემებით

(წყარო: <https://www.precedenceresearch.com/ai-in-sports-market>)

AI საშუალებას აძლევს გუნდებს, გადავიდნენ ტრავმების მკურნალობის რეაქტიული მიდგომიდან მათი პრევენციის პროაქტიურ სტრატეგიაზე, რაც ზრდის სპორტსმენთა უსაფრთხოებასა და გუნდის ეფექტურობას.

ნაშრომი მიზნად ისახავს გუნდურ სპორტებში AI-ის გამოყენების ანალიზს, განსაკუთრებით ტრავმების პროგნოზირებისა და ვარჯიშის ოპტიმიზაციის კუთხით. განხილულია 2025 წლის ტრენდები, საერთაშორისო გამოცდილება და გამოწვევები, ასევე AI-ის პოტენციური საქართველოს სპორტის განვითარებისთვის.

2. ძირითადი ნაწილი

ხელოვნური ინტელექტის (AI) ინტეგრაცია გუნდურ სპორტში გადამწყვეტ როლს თამაშობს სპორტსმენის მართვის პროცესის ტრანსფორმაციაში. AI-ს საშუალებით, მწვრთნელები და სამედიცინო პერსონალი იღებენ არა მხოლოდ აღწერილობით, არამედ პროგნოზულ ანალიზს, რაც მათ საშუალებას აძლევს, მიიღონ პრევენციული გადაწყვეტილებები. ეს პროცესი იწყება უზარმაზარი მოცულობის ჰეტეროგენული მონაცემების შეგროვებითა და დამუშავებით, რომელიც მოიცავს:

- ფიზიოლოგიურ მონაცემებს: გულისცემის სიხშირე, ძილის ხარისხი, დაღლილობის დონე (RPE).
- ბიომექანიკურ მონაცემებს: მოძრაობის სიჩქარე, ნახტომის სიმაღლე, დატვირთვა სახსრებზე (მიღებული GPS-სენსორებიდან და ვიდეო ანალიტიკიდან).
- ტრენინგის მონაცემებს: ვარჯიშის ინტენსივობა და მოცულობა.
- ისტორიულ მონაცემებს: წარსული ტრავმები და აღდგენის დრო.

მონაცემების შეგროვება ხდება ტარებადი მოწყობილობებით (მაგ., ჭკვიანი საათები, GPS-ტრეკერები), მაღალი გარჩევადობის ვიდეოკამერებითა და სენსორებით.

მონაცემთა დამუშავების სირთულის გამო, გამოიყენება ხელოვნური ინტელექტის სხვადასხვა პლათფორმები, ნეორონული ქსელები და მანქანური ალგორითმები, როგორიცაა Random Forest, CNN (Convolutional Neural Networks) და LSTM (Long Short-Term Memory). ეს მოდელები აანალიზებენ დაღლილობას, დატვირთვის დონეს და ბიომექანიკურ დისბალანსს, რაც პერსპექტივაში საშუალებას იძლევა მოხდეს ტრავმების რისკის ზუსტი პროგნოზირება.

ხელოვნური ინტელექტის ერთ-ერთი მთავარი გამოყენება გუნდურ სპორტებში არის ტრავმების რისკის პროგნოზირება. თანამედროვე სისტემების საშუალებით ხდება მრავალ-განზომილებიანი მონაცემების ანალიზი, რომ განსაზღვრონ სპორტსმენის მდგომარეობა და პოტენციური საფრთხეები:

- *ფეხბურთი*: სისტემები, როგორიცაა Catapult-ის GPS-ტრეკერები, აანალიზებენ მოთამაშეთა მოძრაობის ნიმუშებს, სიჩქარეს, დისტანციასა და დაღლილობის დონეს. მაგალითად, პრემიერ ლიგის კლუბები იყენებენ AI-ს, რათა განსაზღვრონ, როდის არის მოთამაშე გადაღლილობის ან კუნთოვანი ტრავმის რისკის ქვეშ.
- *კალათბურთი*: AI-ზე დაფუძნებული ვიდეოანალიზი იკვლევს ნახტომის ტექნიკას, სახსრების დატვირთვასა და მოძრაობის სიზუსტეს, რაც ამცირებს ACL (წინა ჯვარედინი იოგების) დაზიანების რისკს.
- *რაგბი*: GPS-ისა და AI-ის ინტეგრაცია საშუალებას აძლევს გუნდებს, განსაზღვრონ არაკონტაქტური ტრავმების რისკი, მაგალითად, გადაღლილობის ან ბიომექანიკური დისბალანსის გამო.

ნაციონალური საფეხბურთო ლიგის (NFL) მაგალითი გვიჩვენებს, თუ როგორ ამოიცნობს AI თავის ტვინის შერყევას (concussion) რეალურ დროში, რაც საშუალებას აძლევს მწვრთნელებსა და ექიმებს, დაუყოვნებლივ მიიღონ ზომები.

ხელოვნური ინტელექტი ასევე გამოიყენება ვარჯიშის პროგრამების პერსონალიზაციაში, ამ დროს ხდება სპორტსმენთა ინდივიდუალური მახასიათებლების გათვალისწინება:

- მონაცემთა ანალიზი: სენსორები აგროვებენ ინფორმაციას გულ-სისხლძარღვთა სისტემის, სუნთქვის, კუნთების აქტივობისა და აღდგენის დინამიკის შესახებ.
- პერსონალიზაცია: AI-ის ალგორითმები ავტომატურად არეგულირებენ ვარჯიშის ინტენსივობას, მოცულობასა და ხანგრძლივობას, რათა თავიდან აიცილონ გადაღლილობა ან გადატვირთვა.
- აღდგენა: AI გვთავაზობს რეკომენდაციებს კვების, ჰიდრატაციისა და ძილის შესახებ, რაც ხელს უწყობს ენერგიის ეფექტურ განაწილებას.

მაგალითად, ფეხბურთის გუნდები იყენებენ AI-ს, რომ შეიმუშაონ ინდივიდუალური ვარჯიშის გეგმები, რომლებიც ითვალისწინებენ მოთამაშის ფიზიკურ მდგომარეობას, სეზონის ეტაპსა და მოახლოებული მატჩის მნიშვნელობას.

AI-ის გამოყენება გუნდებს საშუალებას აძლევს გააუმჯობესონ თამაშის სტრატეგია:

- მონაცემთა სტატისტიკური ანალიზი: AI აანალიზებს წინა თამაშების შედეგებს, მოთამაშეთა მოძრაობის ნიმუშებს, პასების ხარისხსა და მოწინააღმდეგის ტაქტიკას.
- მოდელირება: ალგორითმები ქმნიან თამაშის სცენარებს, პროგნოზირებენ მოვლენების განვითარებას და გვთავაზობენ ოპტიმალურ გადაწყვეტილებებს.

ფეხბურთში ისეთი სისტემები, როგორიცაა Wyscout, აანალიზებენ მოთამაშეთა განლაგებასა და გუნდურ თანამშრომლობას, რაც მწვრთნელებს ეხმარება სისუსტეების გამოვლენასა და სტრატეგიის შემუშავებაში. კალათბურთში, AI აანალიზებს მოთამაშეთა ნახტომის ტექნიკას, რაც ამცირებს ტრავმის რისკს.

ხელოვნური ინტელექტის ინტეგრაცია და მისი ეფექტური გამოყენება ასევე ხელს უწყობს გუნდური თანამშრომლობის გაუმჯობესებას:

- მოთამაშეთა ანალიზი: სისტემები აანალიზებენ მოთამაშეთა განლაგებას მოედანზე, პასების სიზუსტესა და მოძრაობის სინქრონულობას.
- სტრატეგიის ოპტიმიზაცია: AI გვთავაზობს რეკომენდაციებს როლების განაწილებისა და თამაშის სქემების შესახებ, რაც ამცირებს შეცდომებს.

მაგალითად, რაგბის გუნდები იყენებენ AI-ს, რათა გააანალიზონ მოთამაშეთა კომუნიკაცია და თანამშრომლობა, რაც ზრდის გუნდის ეფექტურობას.

შედეგი. AI-ის გამოყენებამ გუნდურ სპორტებში მნიშვნელოვანი შედეგები მოიტანა:

- ტრავმების შემცირება: ფეხბურთის კლუბები, NFL-ის გუნდები და კალათბურთის ორგანიზაციები ამცირებენ ტრავმების რაოდენობას AI-ის მიერ მოწოდებული პროგნოზების საფუძველზე.
- პერსონალიზაცია: AI-ზე დაფუძნებული ვარჯიშის პროგრამები ითვალისწინებენ ინდივიდუალურ საჭიროებებს, რაც ზრდის სპორტსმენტა მზადყოფნას.
- სტრატეგიული უპირატესობა: გუნდები იღებენ მონაცემებზე დაფუძნებულ გადაწყვეტილებებს, რაც ზრდის მათ კონკურენტუნარიანობას.

ხელოვნური ინტელექტის დანერგვა სპორტსა და ჯანდაცვის სფეროებში არაერთ მნიშვნელოვან სარგებელს მოიტანს, თუმცა მას თან ახლავს სერიოზული გამოწვევებიც. აღნიშნულ პრობლემათა შორის განსაკუთრებული ყურადღების ღირსია ოთხი ძირითადი მიმართულება: **მონაცემთა სტანდარტიზაცია, „შავი ყუთის“ ეფექტი, ეთიკის საკითხი და ფინანსური ხელმისაწვდომობა.**

პირველ რიგში, მონაცემთა სტანდარტიზაციის პრობლემა უკავშირდება იმას, რომ სპორტში გამოყენებული სენსორები, ფიტნეს-გაჯეტები, ანალიტიკური პროგრამები, ისევე როგორც ჯანდაცვის აპარატურა და კლინიკური სისტემები, ხშირად განსხვავებულ ფორმატში

წარმოქმნიან ინფორმაციას. ასეთი მრავალფეროვნება მნიშვნელოვნად ართულებს მონაცემთა ერთიან ბაზაში გაერთიანებასა და მათ შემდგომ ანალიზს. ამ გამოწვევის დაძლევა შესაძლებელია საერთაშორისო სტანდარტების დანერგვით, ასევე, მიზანშეწონილია ისეთი პროცესების გამოყენება, რომლებიც უზრუნველყოფენ მონაცემთა ტრანსფორმაციასა და ერთიან ფორმატში გარდაქმნას. მონაცემთა სტანდარტიზაციის საკითხის წარმატებით გადაჭრის აუცილებელ წინაპირობას წარმოადგენს მულტიდისციპლინური თანამშრომლობა - სპორტის სპეციალისტებს, ექიმებსა და მწვრთნელებს შორის შეთანხმებით უნდა ჩამოყალიბდეს მონაცემთა ერთიანი მოდელი, რომელიც მომავალი ანალიზისა და პროგნოზირების საფუძვლად იმსახურებს.

„შავი ყუთის“ ეფექტი წარმოადგენს მეორე მნიშვნელოვან გამოწვევას. აღნიშნული ფენომენი გულისხმობს იმას, რომ ხელოვნური ინტელექტის მიერ მიღებული გადაწყვეტილება მომხმარებლისთვის, იქნება ეს ექიმი, მწვრთნელი თუ პაციენტი, ხშირად გაუგებარია. ასეთ პირობებში, სისტემის მიმართ ნდობა იკლებს, ვინაიდან არ იკვეთება ის ლოგიკა, რომლის საფუძველზეც ალგორითმი კონკრეტულ პროგნოზს აკეთებს. გამოსავლს წარმოადგენს Explainable AI (XAI) მიდგომები, ანუ ახსნადი ხელოვნური ინტელექტის სისტემები, რომლებიც შესაძლებლობას იძლევა შეფასდეს თითოეული პროგნოზის განმსაზღვრელი ძირითადი ფაქტორები. ეფექტიანად ითვლება ჰიბრიდული მოდელების გამოყენებაც. ასევე განსაკუთრებული მნიშვნელობა ენიჭება შედეგების ინტუიციურ ვიზუალიზაციას: სისტემა არა მხოლოდ პროგნოზს უნდა ასახავდეს, არამედ განმარტებასაც. მაგალითად: *„გულისცემის მატება და დაღლილობის ინდექსის ზრდა მიუთითებს ტრავმის მაღალი რისკზე.“* დამატებით, უმნიშვნელოვანესია მომხმარებლის - ექიმის ან მწვრთნელის - ჩართულობა, რათა მათ შეძლონ მიღებული შედეგების გადამოწმება და საჭიროების შემთხვევაში კორექტირება.

მესამე გამოწვევას წარმოადგენს **ეთიკის და მონაცემთა უსაფრთხოების საკითხი**. სპორტსმენებისა და პაციენტების მონაცემები უკიდურესად სენსიტიურია, რადგან ისინი მოიცავს ბიომეტრიულ მახვენებლებს, ჯანმრთელობის ისტორიას და სხვა პირად ინფორმაციას. ამგვარი მონაცემების უსაფრთხო შენახვა და დამუშავება არა მხოლოდ ტექნოლოგიური, არამედ სამართლებრივი და ეთიკური ვალდებულებაა. მონაცემთა გაჟონვის ან არასანქცირებული გამოყენების შემთხვევაში საფრთხის ქვეშ დგება ინდივიდის პირადი ცხოვრება და პროფესიული რეპუტაცია. ამიტომ, AI სისტემების დანერგვისას აუცილებელია მკაფიო რეგულაციების, მონაცემთა დაცვის სტანდარტებისა და გამჭვირვალე პოლიტიკის არსებობა.

მეოთხე გამოწვევა უკავშირდება **ფინანსურ ხელმისაწვდომობას**. AI-ტექნოლოგიების დანერგვა დაკავშირებულია მაღალ ხარჯებთან - საჭიროა როგორც ძვირადღირებული ინფრასტრუქტურა, ისე კვალიფიციური პერსონალი. შედეგად, მცირე სპორტული კლუბები ან ფინანსურად შეზღუდული ქვეყნები ხშირად ვერ ახერხებენ ამ შესაძლებლობების სრულ გამოყენებას. ეს ქმნის უთანასწორობას: ერთ მხარეს არიან ელიტური კლუბები და მდიდარი ქვეყნები, რომლებიც ინოვაციებით სარგებლობენ, ხოლო მეორე მხარეს - დაბალშემოსავლიანი ორგანიზაციები, რომლებსაც კონკურენტული შესაძლებლობები ეზღუდებათ. პრობლემის გადაჭრა შესაძლებელია ინოვაციების დემოკრატიზაციის გზით, მაგალითად ღია კოდის მქონე პლატფორმების განვითარებით, სახელმწიფოს ან საერთაშორისო ორგანიზაციების მხრიდან ფინანსური მხარდაჭერის უზრუნველყოფით.

3. დასკვნა.

დასკვნის სახით შეიძლება ითქვას, რომ ხელოვნური ინტელექტი გარდაქმნის გუნდურ სპორტს, საშუალებას აძლევს გუნდებს, პროგნოზირებად განსაზღვრონ ტრავმების რისკი,

შეიმუშაონ პერსონალიზებული ვარჯიშის პროგრამები და გააუმჯობესონ თამაშის სტრატეგია. 2025 წლის ტრენდები, როგორცაა მულტიმოდალური ანალიზი და ღრმა სწავლის ალგორითმები, აჩვენებს, რომ AI ხდება გადაწყვეტილებების მიღების ინსტრუმენტი რეალურ დროში. მაგრამ ეფექტიანი ინტეგრაცია სპორტსა და ჯანდაცვაში დამოკიდებულია ოთხ ფუნდამენტურ პრინციპზე: მონაცემთა სტანდარტიზაციის გზით შესაბამისი ინფრასტრუქტურის შექმნაზე, პროგნოზების მაქსიმალურად ახსნად და გამჭვირვალე სახით წარმოდგენაზე, პირადი მონაცემების დაცვაზე მკაცრი ეთიკური სტანდარტების შესაბამისად, და ტექნოლოგიებზე თანაბარ ფინანსურ წვდომაზე. მხოლოდ ამ პირობების ერთობლივი შესრულება გახდის შესაძლებელს ისეთი სისტემების შექმნას, რომლებიც არა მხოლოდ ინოვაციური, არამედ პრაქტიკულად სანდო, სამართლიანი და ხელმისაწვდომი იქნება.

გამოყენებული ლიტერატურა:

1. Gonçalves, B., Figueiredo, P., & Silva, F. (2022). *Artificial Intelligence in Sports: Applications and Challenges*. Journal of Sports Analytics, 8(3), 145–162.
2. Li, X., & Chen, J. (2021). *Machine Learning in Athlete Performance Monitoring*. IEEE Transactions on Computational Intelligence and AI in Games, 13(4), 678–689.
3. Baca, A., & Kornfeind, P. (2020). *Real-time Performance Analysis in Sports Using AI Technologies*. Journal of Sports Science & Medicine, 19(2), 233–246.
4. Dutta, S., & Chakraborty, S. (2021). *Predictive Modeling in Competitive Sports Using AI*. International Journal of Sports Science, 11(1), 45–58.
5. Ribeiro, J., & Santos, M. (2023). *Ethical and Data Privacy Challenges in Sports AI Applications*. Sport Management Review, 26(2), 210–225.

The use of artificial intelligence (AI) in team sports - Prediction of injuries and optimization of training

Besik Tsitsagi

Batumi Shota Rustaveli State University

besik.tsitsagi@bsu.edu.ge

Abstract

The paper discusses the possibility of using artificial intelligence (AI) in team sports, in particular its role is focused on the prediction of injuries and optimization of training. The latest trends, such as multimodal data analysis, deep learning algorithms and the integration of wearable devices and relevant technologies, are characterized and analyzed. The paper draws on international experience in football, basketball and rugby, and also discusses ethical and technological challenges. The study highlights the importance of AI for improving athlete health and team performance, especially in the context of Georgian sports.

Keywords: sports, artificial intelligence, injuries, training optimization

ციფრული თაობა და მასწავლებელი

დარეჯან გელაძე, ია მოწყობილი, შორენა მესხიძე

ბათუმის შოთა რუსთაველის სახელმწიფო უნივერსიტეტი

darejan.geladze@bsu.edu.ge, ia.motskobili@bsu.edu.ge, shorena.meskhidze@bsu.edu.ge

რეზიუმე

ციფრულმა ტექნოლოგიებმა ახალი ციფრული ეპოქა შექმნა, რომლის საფუძველზე მოძიებული ინფორმაცია დღევანდელ ცხოვრებაში გვევლინება როგორც განძი, ხოლო ინფორმაციული ექნოლოგიები - ქვეყნის განვითარების მთავარი ინდიკატორი. მსოფლიოში გლობალური ინფორმაციული სისტემების შექმნა სწრაფად მიმდინარეობს და მიზანია რეალური დროში ნებისმიერი დაინტერესებული ადამიანისთვის ინტერნეტ-სივრცეში ინფორმაციის მიწოდება გახადოს სანდო.

თანამედროვე ტექნოლოგიები მასწავლებელს საშუალებას აძლევს სასწავლო პროცესი ინტერაქტიულად და საინტერესოდ წარმართოს, უფასო და მარტივად მოსახმარი ციფრული ინსტრუმენტები ყველასთვის ხელმისაწვდომი და ალქმადი გახადოს, რომლისთვისაც მხოლოდ კომპიუტერული სისტემა და ინტერნეტთან კავშირია საჭირო, ხოლო არამიზნობრივ გამოყენებას ახლავს გამოწვევები და საფრთხეები, კერძოდ, ინფორმაციული წიგნიერების დეფიციტი, ინფორმაციის მოძიება, გავრცელებასთან, გამოყენებასთან დაკავშირებული ფაქტორები, პირადი მონაცემების ხელყოფა და სხვა.

ციფრულ სამყაროსთან ურთიერთობისას მნიშვნელოვანია თანამედროვე მასწავლებელს გააჩნდეს ინფორმაციულ-საკომუნიკაციო ტექნოლოგიების გამოყენების უსაფრთხო და ეთიკური მოქმედებისკენ აუცილებელი კომპეტენციები, რაც ციფრულ მოქალაქედ აქცევს.

საკვანძო სიტყვები: ციფრული ტექნოლოგიები, უსაფრთხოება, უწყვეტი განათლება, კომპეტენცია

1. შესავალი.

დღეს წარმოდგენილია ზრუნავდე სკოლის განვითარებაზე ინოვაციური ტექნოლოგიების გარეშე. ეროვნული სასწავლო გეგმის გამჭოლ კომპეტენციებში მნიშვნელოვანი ადგილი ციფრული ტექნოლოგიების განვითარებას უკავია, რომელიც მოსწავლეზე ორიენტირებულ სასწავლო გარემოს მოტივირებულს, ხალისიანს, საინტერესოს, ეფექტურს, ხელმისაწვდომს და მოქნილს ხდის, ხელს უწყობს საგნებს შორის კავშირს, მოსწავლეებს ამზადებს მომავალი დამოუკიდებელი ცხოვრებისთვის, ეხმარება განვითარონ ციფრული კომპეტენციები, ღირებულებები, დამოკიდებულებები, რომლებიც უზრუნველყოფს მზადყოფნას გაუმკლავდნენ გამოწვევებს მთელი ცხოვრების მანძილზე.

ციფრული ტექნოლოგიების დანერგვა მნიშვნელოვანია უნივერსალური სასწავლო გარემოს, სრულფასოვანი საგაკვეთილო მოდელის შექმნისა და ეროვნული სასწავლო გეგმით გათვალისწინებული მიზნების მიღწევისთვის. ტექნოლოგიებით გამდიდრებული გაკვეთილი გულისხმობს სწავლების პროცესის გაუმჯობესებას და ეფექტური სასწავლო გარემოს შექმნას, ციფრული საგანმანათლებლო რესურსების, სტრატეგიების, ინსტრუმენტების გამოყენებას სასწავლო გამოცდილების გაუმჯობესების მიზნით და წარმოადგენს უწყვეტი განათლების სათავეს.

2. ძირითადი ნაწილი

ზოგადსაგანმანათლებლო სკოლაში მასწავლებლის ცოდნა და პროფესიული უნარ-ჩვევები უზრუნველყოფს ციფრული ტექნოლოგიების მიზანმიმართულ გამოყენებას სწავლა-სწავლების პროცესში, რომელიც ორიენტირებულია ეფექტიან და შედეგზე ორიენტირებულ განათლებაზე.

მასწავლებელმა უნდა იცოდეს, ციფრული ტექნოლოგიების ძირითადი ცნებები და ოპერაციები, ინფორმაციის მოძიება, ანალიზი, ორგანიზება, შენახვა, გავრცელება, კვლევა, ციფრული ინსტრუმენტების გამოყენების უპირატესობა და შეზღუდვების გაცნობიერება; ინტერნეტის და ქსელური ტექნოლოგიების განვითარების ზეგავლენა საზოგადოებაზე; ციფრული საშუალებების მართვა, (ტექნიკური კომპეტენციები) მასში შედის კომპიუტერული მოწყობილობის ჩართვა, გადატვირთვა, გამორთვა; ონლაინ რესურსების შექმნა და მიზანმიმართული გამოყენება. ციფრული სასწავლო მასალის, კერძოდ ტექსტური, ვიდეო- აუდიო ფაილის, მულტიმედიური პრეზენტაციების, საგანმანათლებლო თამაშების, ვებ-გვერდის-ბლოგის შექმნა, ცხრილების, დიაგრამების, ანიმაციების, კომიქსის შექმნა, ვებ-პუბლიკაციების შესაქმნელი პროგრამული უზრუნველყოფის გამოყენება, ვებ-სივრცეში არსებული რესურსების, ონლაინ რედაქტორების და საგანმანათლებლო მასალების გამოყენება, სხვადასხვა ტიპის ციფრული მასალების ეფექტიანი პრეზენტაცია, სამოდელო გაკვეთილის დაგეგმვა, სამომხმარებლო პროგრამების გამოყენებით მარტივი პროცესების ავტომატიზაცია, ციფრული მოდელების და სიმულაციების გამოყენება, ღია საგანმანათლებლო რესურსების მოძიება, ასევე ციფრული რესურსების სასწავლო ამოცანისადმი ადეკვატურობისა და სარგებლიანობის შეფასება, ციფრული რესურსების მისადაგება სასწავლო პროცესში განხორციელებული აქტივობისადმი.

მასწავლებელმა უნდა გააცნობიეროს ინტერნეტში და სოციალურ ქსელში მუშაობის ეთიკური ნორმები, გააცნობიეროს ინტერნეტის სტრუქტურა და ინტერნეტში მონაცემთა მიღება-გავრცელებასთან დაკავშირებული ცნებები, ტერმინები და მონაცემთა გაცვლის პროტოკოლები, დაიცვას საკუთარი და სხვისი პერსონალური ინფორმაცია, ციფრული რესურსები გამოიყენოს უსაფრთხოების, კანონისა და ეთიკურობის დაცვით, პატივისცემა გამოიჩინოს საავტორო უფლებებისა და ინტელექტუალური საკუთრების მიმართ, შეძლოს ღია საგანმანათლებლო რესურსების გარჩევა და მათი გამოყენება საკუთარი რესურსების გამოქვეყნებისას, ციფრული საშუალებების გამოყენებით შეძლოს კომუნიკაცია მოსწავლეებთან, მშობლებთან, კოლეგებთან, მიიღოს მონაწილეობა საგანმანათლებლო ონლაინ ფორუმში, შეძლოს საგანმანათლებლო აპლიკაციების გამოყენება, ეფექტიანი კვლევითი საქმიანობისთვის აუცილებელი ინფორმაციულ-საკომუნიკაციო საშუალებების ფლობა-ელექტრონული ბიბლიოთეკის, ენციკლოპედიის, საცავის გამოყენება.

ციფრული ტექნოლოგია მასწავლებელს შესაძლებლობას აძლევს ჩაატაროს ონლაინ კვლევა და მოახდინოს მოძიებული მასალის სისტემატიზაცია, დამუშავება და ანალიზი, კომპიუტერული ქსელების ტიპებს შორის ნავიგაციისა და ინფორმაციის გაცვლა, საგანმანათლებლო საძიებო სისტემების ფლობა,

ტექნოლოგიები მასწავლებელს შესაძლებლობას აძლევს ციფრული ტექნოლოგიების საგნობრივი პროგრამაზე დაყრდნობით დაგეგმოს სწავლების ინოვაციური მეთოდებით გადიდრებული სასწავლო პროცესი, თითოეული აქტივობის მსვლელობის მოახდინოს ეტაპების შერჩევა, ინფორმაციულ-საკომუნიკაციო ტექნოლოგიებზე დაფუძნებული თანამშრომ-

ლობითი პროექტის ტიპის დავალებების მომზადებისთვის საჭირო ტექნიკური საშუალებების, ინსტრუმენტების რესურსების შერჩევა და მომზადება.

სასწავლო პროცესში მნიშვნელოვანია მასწავლებელი ითვალისწინებდეს მოსწავლის ცოდნას, ინტერესებს, შესაძლებლობებს და გამოცდილებას, ციფრული ტექნოლოგიები კი საშუალებას იძლევა სასწავლო მიზნისთვის მოიძიოს და შექმნას ისეთი სასწავლო გეგმა, სადაც მოსწავლე სასწავლო პროცესის აქტიური მონაწილეა, კერძოდ: საგანმანათლებლო ელექტრონული თამაშები, კომიქსი, ელექტრონული ქვიზი, სიმულაცია, რომელიც მნიშვნელოვან როლს ასრულებს მოსწავლეთა აკადემიურ უნარებზე, პატარებს სწავლა შესაძლოა ხშირად დამღლელად მოეჩვენოთ, მაგრამ, როგორც კი ჩნდება თამაშის ელემენტები, გაცილებით დიდ ინტერესს იჩენენ და მათი ჩართულობა საგაკვეთილო პროცესში იზრდება, ხდებიან უფრო ყურადღებიანი და კონცენტრირებული, რაც ეხმარება შესასწავლი მასალის უკეთ გააზრებასა და ათვისებაში. რადგან მოსწავლეთა ქცევის ძირითადი ფორმა თამაშია, ეძლევათ საშუალება მიაღწიონ სასურველ მიზნებს მხიარული და ეფექტური გზით. მსგავსი ტიპის აქტივობების დაგეგმვა განუვითარებს ციფრულ წიგნიერების უნარების, შეეძლებათ ონლაინ კომუნიკაციის მიზანმიმართული გამოყენება და ონლაინ ეთიკის დაცვა.

მასწავლებლისთვის მნიშვნელოვანია დამოუკიდებელი 1-1-ზე კომპიუტერული ტექნოლოგიის ფლობა და გამოყენება, რომელიც ითვალისწინებს სხვადასხვა ასაკობრივ ჯგუფში ელექტრონული სწავლების თავისებურებებს, ინდივიდუალურ და ჯგუფურ დავალებებს და ხელს უწყობს დამოუკიდებელი სწავლების მოტივირებას. შეუძლია ციფრული ინსტრუმენტების საშუალებით შექმნას ვირტუალური სასწავლო გარემო შეფასებისა და უკუკავშირისთვის.

ინფორმაციულ საკომუნიკაციო საშუალებები და ონლაინ სწავლების გამოყენება მასწავლებელს შესაძლებლობას აძლევს განვითარდეს პროფესიულად, შექმნას და განაახლოს ელექტრონული პორტფოლიო, სადაც ნათლად წარმოაჩენს საკუთარ პროფესიულ ზრდას, ახდენს ცოდნის დოკუმენტირება-განახლებას, კონფერენციასა და ტრენინგში ჩართულობას, ახალი ტექნოლოგიური საშუალებებისა და ისტ-ზე დაფუძნებული სწავლების მეთოდების რეგულარულ დაუფლებას, საკუთარ პროფესიულ საქმიანობასთან დაკავშირებას და მორგებას, შესაძლებლობას აძლევს სწრაფად და მარტივად იცხოვროს, უფრო დახვეწილი გახადოს მისი შემოქმედებითობა და მუდმივად იყოს ჩართული სიახლეების ძიებაში.

ციფრული ტექნოლოგიების ინტეგრირება განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია დაწყებითი საფეხურზე, რადგან მოსწავლეებს უფრო მეტად განვითარებული აქვთ ვირტუალური აღქმის უნარი, საჭიროებენ ინოვაციურ მიდგომებს, ეხმარება საინტერესო და სახალისო გარემოს შექმნაში. სწორედ სწავლისადმი პოზიტიური დამოკიდებულების ჩამოყალიბება განსაზღვრავს მოსწავლის შემდგომ აკადემიურ წარმატებას და ხელს უწყობს ციფრულ მოქალაქედ ჩამოყალიბებას.

3. დასკვნა

დაწყებითი, საბაზო და საშუალო საფეხურის ინფორმაციულ-საკომუნიკაციო ტექნოლოგიების მასწავლებლის პროფესიული სტანდარტი ითვალისწინებს, რომ მოსწავლემ უნდა შეძლოს ციფრულ სამყაროში საკუთარი და სხვისი უფლებების გააზრება, კომუნიკაციისთვის და თანამშრომლობისთვის შესაბამისი ინსტრუმენტების შერჩევა უსაფრთხოების წესების დაცვითა და მათი პასუხისმგებლობით გამოყენება, გაითვალისწინოს ინტელექტუალური საკუთრება, დაიცვას საავტორო უფლებები, გააცნობიეროს საკუთრების უფლება ციფრულ

ნამუშევარზე, მოსწავლემ გაიაზროს მისი გამოყენების სწორი და არასწორი შესაძლებლობები. რაც ხელს შეუწყოს მათ ინტეგრირების უნარებს სასწავლო, საყოფაცხოვრებო თუ სოციალურ აქტივობებში.

ციფრული კომპეტენციების ფლობა მასწავლებელს დაეხმარება გახდეს არა მხოლოდ ცოდნის გამზიარებელი, არამედ გეზის მიმცემი, თანამგზავრი-იმ თაობის, რომელიც ციფრულ სამყაროში სწრაფად იზრდება.

გამოყენებული ლიტერატურა:

1. **ბოხუა ე.** „საინფორმაციო საკომუნიკაციო ტექნოლოგიები განათლებასა და მეცნიერებაში“, მეცხრე საერთაშორისო სამეცნიერო-პრაქტიკული კონფერენცია, აკაკი წერეთლის სახელმწიფო უნივერსიტეტი, ქუთაისი, 2023;
2. **გლანცი ჯ.** „სწავლება 101: საკლასო სტრატეგიები დამწყები მასწავლებლებისთვის“, თბილისი, 2016;
3. **გონაშვილი რ.** „რატომ არის საჭირო სწავლებაში ტექნოლოგიების ინტეგრირება“. მოძიებულია 15 სექტემბერი, 2025, <https://mastsavlebeli.ge/?p=3987> ;
4. დაწყებითი, საბაზო და საშუალო საფეხურის ინფორმაციულ-საკომუნიკაციო ტექნოლოგიების მასწავლებლის პროფესიული სტანდარტი. მოძიებულია 12 სექტემბერი, 2025, https://old.tpdg.ge/uploads/pdf_documents/informaciuli%20standarti.pdf
5. **დგებუაძე მ, გიორგაძე მ.** „მულტიმედიური საშუალებების გამოყენების როლი სწავლების პროცესში“. „განათლება, კვლევა პრაქტიკა - შრომები“. საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენცია. იაკობ გოგებაშვილის სახელობის თელავის სახელმწიფო უნივერსიტეტი. თელავი, 2015;
6. **იავიჩი მ, იაშვილი გ.** „ინტერნეტში უსაფრთხოების გზამკვლევი ბავშვებისთვის, ასაკი: 6-11 წელი“, გამომცემლობა „World Vision“, თბილისი., 2020;
7. **კავთუაშვილი მ.** „ონლაინ ბავშვობის საფრთხეები“, მოძიებულია 15 სექტემბერი, 2025, <https://mastsavlebeli.ge/?p=20285> ;
8. **ლობჯანიძე ს, სიხარულიძე მ, ურჩუხაშვილი გ.** „ციფრული მოქალაქეობა საქართველოს ზოგადსაგანმანათლებლო სკოლებში - გამოწვევები და დანერგვის გზები“, მონოგრაფია, მასწავლებელთა პროფესიული განვითარების ეროვნული ცენტრი, 2024;
9. **ნიქაბაძე ვ, ერაძე მ.** „სასწავლო პროცესის ტრანსფორმაცია ტექნოლოგიების გამოყენებით - პრაქტიკული გზამკვლევი სკოლებისთვის“, გამომცემლობა „World Vision“, თბილისი, 2022;
10. **ცაგურია ზ.** „ინფორმაციული ტექნოლოგიები“, მასწავლებლის გზამკვლევი, თბილისი, 2015;

Digital generation and teachers

Darejan Geladze, Ia Motskobili, Shorena Meskhidze

Batumi Shota Rustaveli State University

darejan.geladze@bsu.edu.ge, ia.motskobili@bsu.edu.ge, shorena.meskhidze@bsu.edu.ge

Abstract

Digital technologies have created a new digital era, on the basis of which the information sought appears as a treasure in today's life, and information technologies are the main indicator of the country's development. The creation of global information systems in the world is proceeding rapidly and the goal is to make the provision of information in the Internet space to any interested person in real time

reliable.

Modern technologies allow the teacher to conduct the learning process interactively and interestingly, to make free and easy-to-use digital tools accessible and understandable to everyone, for which only a computer system and an Internet connection are required, while inappropriate use is accompanied by challenges and threats, in particular, the lack of information literacy, information search, factors related to distribution and use, personal data infringement, etc.

When interacting with the digital world, it is important for a modern teacher to have the necessary competencies for the safe and ethical use of information and communication technologies, which makes him a digital citizen.

Keywords: Technology, Secure, Digital, Continuous, Competence

მედიაწიგნიერების სწავლების მნიშვნელობა სკოლებში

ნინო ირემაძე

ბათუმის შოთა რუსთაველის სახელობის სახელმწიფო უნივერსიტეტი

iremazen225@gmail.com

რეზიუმე

სტატიაში განხილულია იმ ცოდნისა და უნარების სწავლების გზები რასაც ჩვენ მედიაწიგნიერებას ვუწოდებთ. ტექნოლოგიების ეფექტურად გამოყენების ცოდნა, ალქმა. მედიის წყაროებიდან ძირითადი, მკაფიო შეტყობინებების აღქმის უნარი, რომ შეძლოს ანალიტიკური კითხვების დასმა. ინფორმირებულობა-ყურადღების გამახვილება მედიაშეტყობინებების არსებობასა და მათ როლზე ადამიანის ცხოვრებაში. ანალიზი-მედიაშეტყობინებების დეკოდირება, მათზე კრიტიკულად და დამოუკიდებლად დაფიქრებისათვის. შეფასება - ინფორმირებული და დასაბუთებული მსჯელობა მედიაშეტყობინებების კონკრეტული მიზნების მნიშვნელობის ან სარგებლიანობის შესახებ.

საკვანძო სიტყვები: წიგნიერება, მედიაწიგნიერება, დეკოდირება, კრიტიკული აზროვნება

1. შესავალი.

იცვლება ალქმა იმისა, თუ რას ნიშნავს იყო წიგნიერი. მთელ მსოფლიოში ეს ცვლილება მიმდინარეობს სკოლებსა და ბიბლიოთეკებში. ეს გამოწვეულია ტექნოლოგიების ცვლილებებით. ციფრული და ინტერაქტიული საკომუნიკაციო ტექნოლოგიების ფართო გამოყენება თითქმის შეუზღუდავი ინფორმაციისა და გლობალური აუდიტორიის ხელმისაწვდომობას უზრუნველყოფს, რამაც სამუდამოდ შეცვალა განათლების ხასიათი და ძირითადი უნარ-ჩვევები, რომლებიც საჭიროა იმისთვის, რომ ვიყოთ ინფორმირებული მოქალაქე, პროდუქტიული მუშაკი, კარგი მასწავლებელი და უწყვეტად ვსწავლობდეთ რაიმე ახალს. სტატია ეხება იმას, თუ რას ნიშნავს იყო წიგნიერი დღევანდელ რთულ მედია გარემოში და როგორ შეუძლიათ მასწავლებლებს, გამოიყენონ მედიაწიგნიერების განათლება ამ პროცესში მოსწავლეების ჩასართავად, რათა მოამზადონ ისინი ციფრული სამყაროს მუდმივად ცვალებადი გარემოსთვის.

ჩვენ მუდმივად განვიცდით ინფორმაციულ ზემოქმედებას, რის გამოც მუდმივად ფხიზლად უნდა ვიყოთ. იმის გამო რომ ადამიანი არ გახდეს ინფორმაციით მანიპულირების მსხვერპლი აუცილებელია მედიაწიგნიერების უნარების განვითარება. ასევე, დღევანდელ სამყაროში რთულია იყო წარმატებული, აქტიური, პასუხისმგებელიანი მოქალაქე, თუ არ იცი, როგორ იპოვო, აირჩიო, შეაფასო, გაფილტრო, გადაამოწმო, შექმნა, გაავრცელო და მოიხმარო ინფორმაცია. ეს კომპეტენციები ეხმარება თანამედროვე ადამიანს, რომ მონაწილეობა მიიღოს ეკონომიკურ ცხოვრებაში. ასევე, ეს კომპეტენციები ეხმარება ადამიანს მნიშვნელოვანი პიროვნული თუ პროფესიული გადაწყვეტილებების მიღებისას.

მედიაწიგნიერების სწავლების მიზანი მოიცავს სწავლების ისეთ პრინციპებს, რომლებიც ეფუძნება მოსწავლეებში ცოდნისა და აზროვნების განვითარებას. ხოლო განავითარებენ თუ არა მოსწავლეების ამ უნარებს ეს დამოკიდებულია იმაზე თუ როგორ და რას ასწავლით. მასწავლებელი უნდა იყოს ღია, მოსწავლესა და მასწავლებელს შორის არსებობდეს უნდა დიალოგი. სწავლების ასეთი სტრატეგიების არსებობა მედიაწიგნიერების განათლებაში მკაცრად ასახავს ლევ ვიგოტსკის სოციალურ-კონტრუქტივისტულ თეორიას.

შესაძლებელია მედიაწიგნიერების ინტეგრირება ნებისმიერ საგანსა და სწავლების ნებისმიერ საფეხურზე. როცა სწავლება კრიტიკული აზროვნების პრინციპებზე დგას, თითოეული მოსწავლე თავად ახორციელებს საკუთარი იდეის, შეფასების, მრწამსის ფორმულირებას. ჩვეულებად აქციონ ყველაფრის შესახებ შეკითხვების დასმა, პედაგოგებისთვის ერთ-ერთი საუკეთესო გზაა, რათა დაეხმარონ მოსწავლეებს კრიტიკული აზროვნების ძლიერი უნარ-ჩვევების გამომუშავებაში.

მედიაწიგნიერების სწავლება იწყება კონკრეტული შედეგების გათვალისწინებით და შემდეგ იქმნება სტრატეგიები, რომლებიც მოსწავლეებს დაეხმარება მიზნების მიღწევაში.

მედიაწიგნიერების სწავლების მიზანია, დაეხმაროს მოსწავლეს კვლევითი ჩვევებისა და გამოხატვის უნარ-ჩვევების განვითარებაში, რაც მათ დაეხმარება კრიტიკულ აზროვნებაში, გახდნენ ეფექტური კომუნიკატორები და დღევანდელი მსოფლიოს აქტიური მოქალაქეები. მიზანია კრიტიკულად მოაზროვნეების, ეფექტური კომუნიკატორებისა და აქტიური მოქალაქეების ფორმირება. ამ მიზნებამდე მისასვლელი სტრატეგიები იყოფა ორ ნაწილად: კვლევითი უნარ-ჩვევები და გამოხატვის უნარები [1].

ამ სტრატეგიის შესწავლისას გამოცდილი პედაგოგები იპოვიან ყველასთვის ნაცნობ და ახალ ინფორმაციას, რადგან მედიაწიგნიერების განათლება ემყარება არსებულ საგანმანათლებლო პრაქტიკას.

მედიაწიგნიერების განათლება მოითხოვს აქტიურ კვლევას და კრიტიკულ აზროვნებას ჩვენ მიერ მიღებულ და შექმნილ შეტყობინებებზე. რადგან კვლევა ძალიან მნიშვნელოვანია, მედიაწიგნიერების პედაგოგებმა დიდი დრო უნდა დაუთმონ და ასწავლონ კითხვების დასმა, არა მხოლოდ მაშინ როდესაც მოსწავლეები ანალიზებენ მედიაშეტყობინებებს რომლების სხვებმა შექმნეს, არამედ მაშინაც, როდესაც ისინი თავად ქმნიან მედიაშეტყობინებებს. შეკითხვა უნდა დაისვას სწორად იმის შესახებ, თუ რას უყურებ, რას კითხულობ ან რას უსმენ. მნიშვნელოვანია რომ მოსწავლეებმა ისწავლონ კითხვების დასმა. ტექსტის კრიტიკული შეფასებისას მნიშვნელოვანია პასუხი მივიღოთ კითხვაზე „რატომ“-ეს დაეხმარება მოსწავლეებს ტექსტის კრიტიკულ შეფასებაში, ტექსტის გააზრებაში და აიოლებს სწავლების პროცესს. რატომ? რა საჭიროა ამის შესწავლა, ამის კეთება, რაში გამომადგება დღეს ან სამომავლოდ? რა სარგებელს მომიტანს. მომდევნო კითხვაა „როგორ?“ როგორ შეიძლება მივაღწიო მიზანს, რა არის საჭირო კონკრეტული საკითხის შესასწავლად? მომდევნო კითხვაა „რა?“ რას ვსწავლობ, რა დავალებას ვასრულებ [1, 2]?

კრიტიკული აზროვნება აუცილებელია მედიაწიგნიერებისთვის, ხოლო მედიაწიგნიერება -კრიტიკული აზროვნებისთვის.

კრიტიკული აზროვნება მოიცავს საკუთარი მიუკერძოებლობისა და პერსპექტივების ცოდნას, მათ მოკვლევას და არა მათი ზეგავლენის ქვეშ მოქცევას, მათ შეცვლას ახალი ფაქტების ან დამაჯერებელი არგუმენტების ფონზე.

მედიაწიგნიერების სწავლებისთვის ყურადღება უნდა გავამახვილოთ კრიტიკული აზროვნების ხუთ ძირითად კომპონენტზე.

1. ცნობისმოყვარეობისა და კითხვების დასმის სურვილი. კრიტიკულად მოაზროვნეებს სურთ, ყველაფერი იცოდნენ.
2. მუდმივი ჩართულობა ძიების პროცესში-ემებენ ინფორმაციას, ანალიზებენ და აფასებენ.
3. თანდაყოლილი სკეპტიციზმი-ვარაუდების, მოტივებისა და ფაქტების ძიება.

4. მსჯელობის ჯანსაღი შეფასება-ფაქტებისა და მოსაზრებების განსხვავება. სანდო მტკიცებულების ცოდნა, ლოგიკის გამოყენება დასკვნების გამოსატანად.

5. მოქნილობა და გონებამახვილობა-კრიტიკულად მოაზროვნეები ექვემდებარებიან აყენებენ საკუთარ ვარაუდებს და მზად არიან, შეიცვალონ აზრი ფაქტების საფუძველზე.

შეფასება მედიაწიგნიერების არსებითი კომპონენტია [1,2].

განავითარებენ თუ არა მოსწავლეები სინამდვილეში კვლევით ჩვევებსა და გამოხატვის უნარებს, რომ გახდნენ კრიტიკული მოაზროვნეები, აქტიური მოქალაქეები და უკეთესი კომუნიკატორები, დამოკიდებულია იმაზე თუ როგორ და რას ასწავლიან.

თუ ჩვენ გვინდა, რომ მოსწავლეები იყვნენ მკაცრი კრიტიკული მოაზროვნეები, მაშინ ჩვენ უნდა მოვახდინოთ ყველა მედიასაშუალების ანალიზის მოდელირება და არა მხოლოდ ღირებულების გამომხატველი მედია საშუალებებისა, რომლებსაც ვიმედოვნებთ, რომ მოსწავლეები უარყოფენ.

მოსწავლეების მიმართ უნდა გამოვხატოთ ღიაობა მათი კულტურის იმ ნაწილის მიმართ რომელსაც შეიძლება არ ვიზიარებდეთ და ამის შემდეგ უნდა ველოდოთ მათი მხრიდან გონება გახსნილობას და თავაზიანობას. უნდა ვასწავლოთ როგორ დადგინდეს ღირსეულად გამოწვევების წინაშე [1].

სწავლების ასეთი ტიპის სტრატეგიები მედიაწიგნიერების განათლებაში ასახავს ლევ ვიგოტსკის სოციალურ კონსტრუქტივისტულ თეორიას, რომელშიც ურთიერთგაგება ჩნდება მასწავლებელსა და მოსწავლეებს შორის დიალოგის შედეგად. მედიაწიგნიერების სწავლების პროცესში პედაგოგები უზრუნველყოფენ მედიის ანალიზს საკვანძო კითხვებისა და შემდგომი კვლევის საშუალებით, შემდეგ ეტაპობრივად ჩამოშორდებიან პროცესს, რათა მოსწავლეებმა შეძლონ თავიანთი შეკითხვების დასმა მედია საშუალებები შესახებ და ასახონ თავიანთი და სხვების ინტერპრეტაციების შესახებ.

იმისთვის, რომ მედიაწიგნიერების განათლებამ მიაღწიოს წარმატებას სკოლებმა უნდა შექმნან ისეთი სოციო-კულტურული გარემო როგორსაც ვიგოტსკი განიხილავს.

იმისთვის, რომ მოსწავლეებს ასწავლონ, თუ რა უნდა მოძებნონ პედაგოგებმა უნდა დაიწყონ საგანმანათლებლო მიზნების მკაფიოდ ჩამოყალიბება, რის შესრულებაც შესაძლებელია დოკუმენტის დეკოდირების პროცესის საშუალებით, რაც შეიძლება კარგად მოიცავდეს ლექსიკას და სხვა ძირითად კონტენტს, რომელიც ისწავლება დეკოდირების დროს ან მანამდე. მედიის ხასიათიდან გამომდინარე პედაგოგებმა შეიძლება გააცნონ მოსწავლეებს გარკვეული ტერმინები, რომლებიც აღბეჭდავს სპეციფიკურ შინაარსს ან ტექნიკას, რომლების ხშირად ჩანს მედიასაშუალებებში.

დეკოდირების დაწყებამდე უზრუნველყოთ უნდა საჭირო ინფორმაცია. მაგალითად ვიდეოკლიპის შემთხვევაში განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია, მოსწავლეებს შევუქმნათ წარმოდგენა იმის შესახებ, თუ რაზე გაამახვილონ ყურადღება, თუ რაზე იქნება საუბარი შემდგომ დისკუსიაში. ყურადღება უნდა გაამახვილონ შინაარსზე. დეკოდირების დაწყება აუცილებელია შეკითხვით. შეკითხვის დასმა ახდენს ტვინის სტიმულირებას. შეკითხვები ყოველთვის მნიშვნელოვან როლს ასრულებს მოსწავლეთა ჩართულობის დროს [1].

- რა სახის შეტყობინებებს ხედავთ?
- რას გრძნობდით როდესაც უყურებდით (კითხულობდით ან უსმენდით) მედიაშეტყობინებას?
- ვინმეს აქვს კომენტარი ან კითხვა დისკუსიის დასაწყებად?

- შესაძლებელია დაწყება ერთ-ერთი საკვანძო კითხვით მედიაშეტყობინებების ანალიზისთვის.
- ვინ არის მედიაშეტყობინების სამიზნე აუდიტორია და საიდან იცით ამის შესახებ?
- ეს ფაქტია, მოსაზრება თუ რამე სხვა?
- ვის შეუძლია სარგებელი მიიღოს ამ შეტყობინებებით?
- ვის შეიძლება ზიანი მიაღგეს?
- რა ტექნიკას იყენებს მედიის შემქმნელი შეტყობინებების გადმოსაცემად? (მათემატიკა, სიტყვის თავისუფლება, ღირსება და ა.შ.)

შესავალი კითხვები მნიშვნელოვანია, რადგან ისინი დეკოდირებას კონკრეტულ მიმართულებას აძლევენ და ქმნიან მიდგომას. შესავალი კითხვების ფორმულირებით ისე, რომ მასზე ყველას პასუხი ექნება, პედაგოგები მოსწავლეების პროცესში ჩართულობის შანსებს გაზრდიან.

კითხვების დასმით მოსწავლეების უნდა მივიყვანოთ სასურველ მოსაზრებამდე ან სწორ პასუხამდე, ასეთის არსებობის შემთხვევაში. მოსწავლეებს უნდა დავეხმაროთ გაანალიზონ ან შეაფასონ მედიაშეტყობინება მოსწავლეების თვალსაზრისისგან დამოუკიდებლად. კითხვები ისე უნდა იყოს შედგენილი, რომლებიც უნებლიედ არ მოახდენენ მოსწავლეების თვალსაზრისის მიკერძოებას.

მედიაწიგნიერების ინტეგრირების მიზნით კარგი იქნება ზოგადი სავარჯიშოები შეცვალოთ მედიასთან დაკავშირებული მაგალითებით. გამოვავლინოთ უნდა სწავლების მომენტი რომლების ხდება, როდესაც მოსწავლეები აღწერენ მედიას. გავცნოთ თუ რა საშუალებებს იყენებენ მოსწავლეები და გავზარდოთ მათი ცოდნა მედიის არჩევანის შესახებ. განსჯის გარეშე დაავალეთ დასვან ისეთი შეკითხვები რომლებიც დაეხმარება მოსწავლეებს კრიტიკულად იფიქრონ თავიანთი მედიის გამოცდილების შესახებ.

ინფორმაციის წყაროებად ბეჭდურ მედიასთან ერთად გამოიყენეთ არაბეჭდური მედიაც, როდესაც იყენებთ ვიდეო, აუდიო ან ციფრულ პროგრამებს იზრუნეთ იმის დემონსტრირებაზე, რომ ეს მედია, გარდა გასართობისა, შეიძლება იყოს მნიშვნელოვანი წყარო აქტიური სწავლისა და მოსმენისათვის [1,2].

მოსწავლეებს მოეთხოვებათ გააკეთონ ჩანაწერები და განიხილონ შინაარსი.

დაეხმარეთ მოსწავლეებს ყურადღება გაამახვილონ იმაზე, რაც გინდათ, რომ ისწავლონ, გააცნოთ წინასწარ გაკვეთილის მიზანი კონკრეტული მედიის საშუალებით. განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია იმ მედიასაშუალებების დახმარებით, რომელსაც მოსწავლეების იყენებენ გასართობად, რადგან იმ მიმართულებით რა მიმართულებითაც მოსწავლე ირჩევს ყურადღების კონცენტრირებას, გავლენას ახდენს იმაზე, რასაც ისინი სწავლობენ და ახსოვთ. სწორი ტიპის მოთხოვნებს შეუძლია მოსწავლის ყურადღება მიმართოს კონკრეტულ მასალაზე და განავითაროს აქტიური ჩართულობა.

დაავალეთ მოსწავლეებს, გამოიყენონ საკვანძო შეკითხვები თავიანთ ნაწერებში და სხვა შემოქმედებით პროექტებში.

ჩართეთ მედიაწიგნიერება ახალი თემოს შესწავლაში. დაეხმარეთ მოსწავლეებს შექმნან მედიაწიგნიერების ინსტრუმენტები რაც მოიცავს სტრუქტურას, ტერმინებს, კონცეფციებს და რესურსებს. რაც მათ დაეხმარება მედიის შეტყობინებების გამოკვლევის პროცესში.

შესაძლებლობა მიეცით მოსწავლეებს, ურთიერთობა იქონიონ და ითანამშრომლონ ადამიანებთან სკოლის ფარგლებს გარეთ, ახალი მედიასაშუალებების დახმარებით. დაავალეთ მოსწავლეებს იპოვონ ექსპერტები თემაზე, რომელთაც შესაძლოა ჩამოართვან ინტერვიუ ან განიხილონ საკითხები ამ თემის შესწავლის ფარგლებში. განსაზღვრეთ, თუ რა გზით შეიძლება

თქვენმა მოსწავლეებმა იქონიონ ურთიერთობა ან ითანამშრომლონ სხვა სკოლის ან თუნდაც ქვეყნის მოსწავლეებთან, რათა გაიღრმავონ თავიანთი შეხედულება და კულტურული განსხვავებები. გამოიყენეთ მედიის მაგალითები, როგორც შეფასების ნაწილი. ჩვევად აქციეთ, შეაგროვეთ მედიადოკუმენტაციის მაგალითები, რომლებიც მოიცავს როგორც ზუსტ, ასევე არაზუსტ ინფორმაციას ან ასახავს თემებს რომლებსაც კლასში გადიხართ. სტანდარტული შეფასების ნაწილად, საკითხის ბოლოს დაურთეთ რამდენიმე მაგალითი, სთხოვეთ მოსწავლეებს, აღნიშნონ ფაქტები რომლებიც შეესაბამება და არ შეესაბამება სიმართლეს, იმის საფუძველზე რაც მათ კლასში ისწავლეს. გამოიყენეთ ვიდეო თამაშების შეფასების სისტემა ისეთი აქტივობებისთვის, რომლებიც გადაწყვეტილების მიღებას მოიაზრებს [1].

წახალისეთ მოსწავლეები, გამოაქვეყნონ თავიანთი წერილობითი ნაშრომი ან განათავსონ ვიდეო ან ფოტოსურათები ინტერნეტში და იმსჯელონ რომელი საიტი იქნება ამისთვის საუკეთესო პლატფორმა.

3. დასკვნა.

ჩვენ ვიყენებთ ტერმინს „მედიაწიგნიერება“ რადგან წიგნიერების ცნება ძალიან მნიშვნელოვანია ჩვენს ხედვაში, თუ როგორ უნდა განვახორციელოთ მედიაწიგნიერების შეტანა სკოლებში. მედიაწიგნიერება არ არის მხოლოდ მედიატექნოლოგიის, როგორც სწავლების ინსტრუმენტის დამატება ან მედია ანალიზის გაკვეთილის ან წარმოების პროექტის ცასმა აქა-იქ. ტრადიციული წიგნიერების მსგავსად, მედიაწიგნიერება არის სწავლების ფართო მიდგომა.

ჩვენ მოველით, რომ მოსწავლეები გამოიყენებენ მედიაწიგნიერების უნარს მთელი ცხოვრების განმავლობაში.

გამოყენებული ლიტერატურა:

1. სინდი შაიბი, ფეით როგოვი, „მედიაწიგნიერება:კრიტიკული აზროვნება მულტიმედიურ სამყაროში“, კორვინის გამოცემა, 2012
2. კომუნიკაციების კომისია 2023, თბილისი მედიაწიგნიერების გაკვეთილები

The importance of teaching Media literacy in schools

Nino Iremadze

Batumi Shota Rustaveli State University

Iremadzen225@gmail.com

Abstract

The paper Media Literacy starts by asking, what does it mean to be literate in today's world and how can those literacy skills be developed? The authors answer those questions by providing concrete innovative way to integrate media literacy across the curriculum and teach students to be independent, skilled, and reflective thinkers. Through dozens of suggested activities, teaching strategies, and lessons, allows schools to integrate media literacy into teaching at all grade levels and core content areas, teach 21st century skills and higher order critical thinking. Engage students by bridging schoolwork with their lives outside the classroom.

Keywords: Media, Literacy, critical thinking, decoding

ინფორმაციული სისტემის მართვის ოპტიმიზაციის პრინციპები და სწავლებაში გამოყენებული ინტერაქტიური საშუალებები

რიმა თხილაიშვილი, ნინო ხუჯაძე, დიდარ დიდმანიძე

ბათუმის შოთა რუსთაველის სახელმწიფო უნივერსიტეტი

rima.tkhilaishvili@bsu.edu.ge, nino.khujadze@bsu.edu.ge, didir.didmanidze@bsu.edu.ge

რეზიუმე

ინფორმაციული ტექნოლოგიების დინამიურად განვითარების პირობებში და კოდური სტრუქტურების კონკრეტულად განხილვის საფუძველზე შესაძლებელია რთული ინფორმაციული სისტემის მართვის პროცესის ოპტიმიზაციის პრინციპების შემუშავება და მათი დანერგვა სწავლებისა და აღზრდის საქმეში. ამ საკითხის გადაწყვეტა შეიძლება კოდური ჭარბი სტრუქტურების საშუალებით, რადგან შეცდომების ლოკალიზაცია და მათი კორექცია არსებითად არის წონასწორული მდგომარეობიდან გამოსული ინფორმაციული სისტემის კვლავ დაბრუნება საწყის წონასწორულ მდგომარეობაში. გამომდინარე აქედან, კოდური მოდელი არ არის მხოლოდ შეცდომების ლოკალიზაცია - გასწორება, არამედ წარმოადგენს ორგანიზაციისა და მართვის მოდელს.

საკვანძო სიტყვები: ინფორმაციული სისტემა, მართვის პროცესი, ოპტიმიზაციის პრინციპები, ინტერაქტიური საშუალებები.

1. შესავალი.

სწავლება არსებითად არ არის გარემო სამყაროს შემეცნებაზე დამოკიდებული საშუალება. გარდა ამისა ის ცოდნა, რომელსაც ინდივიდი სწავლის პერიოდში ითვისებს შეზღუდულია, როგორც მოცულობით, ისე სიღრმით საზოგადოებრივი ცნობიერების მიმართ. აქედან გამომდინარე ათვისებული ცოდნა ინდივიდუალური ხასიათის არის.

დიდაქტიკური მეთოდის გამოყენების შემთხვევაში სწავლების დროს ხდება ინფორმაციის მიწოდება დიალოგის ფორმით. მიზანი შეიძლება იყოს სხვადასხვა: მოსწავლეების ინფორმირება, მათი ცოდნის გამომჟღავნება და დახვეწა. დიდაქტიკური მეთოდით მიწოდებული ინფორმაცია უნდა იყოს ნათელი და პასუხობდეს შემდეგ კითხვებს: რა, რატომ და სად? ამ დროს მოსწავლისთვის ნათელია სასწავლო მიზნები, მან იცის, როდის ითვლება მიზანი მიღწეულად. მასწავლებელს ცნების ასახსნელად მოჰყავს მაგალითები, ამყარებს კავშირს ახალ და ძველ ცნებებს შორის. ინფორმაციის გაცვლის პროცესში მოსწავლე და მასწავლებელი - ორივე მონაწილეობს და ერთად აგებს ახალ ცოდნას.

2. ძირითადი ნაწილი.

აღზრდა გულისხმობს ადამიანის ცნობიერებასა და ქცევაზე მიზანმიმართულ ზემოქმედებას, მასში გარკვეული დამოკიდებულებების, ცნებების, პრინციპების, ღირებულებების ფორმირების მიზნით, რომლებიც აუცილებელ პირობებს ქმნიან პიროვნების განვითარებისათვის, საზოგადოებრივი ცხოვრებისათვის. აღზრდა ზოგადად, განსხვავებით სწავლებისაგან, ემსახურება მოთხოვნილებას უზრუნველყოს საზოგადოებაში ინდივიდის შეგუება და მორიგება, ცხოვრების უნარი, ყოფითი ნორმების შეთვისების ფორმით.

მაგალითად, უმაღლესი სკოლისათვის ყველაზე გავრცელებული აღზრდის ფორმა არის - აღზრდა სასწავლო პროცესის საშუალებით, ზოგად სამეცნიერო და სპეციფიკური დისციპ-

ლინების (საგნების), სოციალურ-ეკონომიკური საგნების საშუალებით. სწავლებისა და აღზრდის არსი კი ერთიან საერთო საფუძველს ემყარება

სასწავლო და აღზრდელობითი ინფორმაციის შემადგენლობაში გარკვეული მოქმედებისა და მიზნის მიღწევისათვის გამოიყენება ერთგვარი ფორმები. ასეთი სახის საწყის პირობებს ვხვდებით სხვადასხვა სფეროებში: ეთიკაში, ესთეტიკაში, სამართლებრივ მეცნიერებებში, პარტიულ საქმიანობაში, მათემატიკაში, ინფორმატიკაში, პედაგოგიკაში, ტექნიკაში, სტატისტიკაში და ა.შ.

სწავლებისა და აღზრდის პროცესები შეიძლება განვიხილოთ, როგორც საკომუნიკაციო კავშირის პროცესები ლექტორსა და სტუდენტს (მასწავლებელსა და მოსწავლეს) შორის. მხედველობაში უნდა ვიქონიოთ, რომ კომუნიკაცია შეიძლება განხორციელდეს სხვადასხვა არხებით: სახელმძღვანელოებით, მულტიმედიური საშუალებებით და სხვა სასწავლო ინფორმაციის არამეტყველებითი წყაროებით.

სწავლების სისტემის ახალი მოდელის შექმნა მოითხოვს რთული სისტემის მართვის ოპტიმიზაციის ახალი პრინციპების შემუშავებას, მისი სტრუქტურისა და ფუნქციონირების მკაფიო ანალიზსა და აღწერას

წმინდა ფსიქოლოგიური ასპექტის გათვალისწინებით, სწავლების პროცესში მოსწავლეთა აზროვნების ჩამოყალიბებისა და განვითარების შესწავლა, ანუ ცოდნის ჩართვა აზროვნების პროცესში, წარმოადგენს შედეგზე ორიენტირებულ ძირითად ინტერესს.

ოპტიმიზაციის ცნება ერთ - ერთი უმთავრესია მეცნიერებასა და ყოველდღიურობაში. თუ საქმიანობა არის გაცნობიერებული ანალიზის საფუძველზე, მაშინ იგი გარკვეული კუთხით შეიძლება ოპტიმალურად ჩაითვალოს. სწავლების ეს სახე კერძო მეთოდის ყველა ავტორს პრაქტიკაში აძლევს საშუალებას განიხილოს ეს უკანასკნელი, როგორც ოპტიმალური.

დღეს პრაქტიკულად ყველა სფეროში საქმიანობა - მეცნიერების, ხელოვნების კულტურის, განათლების, ბიზნესის, მულტიმედიური პროდუქციის გარეშე დღეს არის წარმოუდგენელი.

მულტიმედიური ინფორმაცია ახდენს ეფექტურ ზემოქმედებას იმ მსმენელზე, ვისთვისაც იგი არის განკუთვნილი და ჩვენ შემთხვევაში ეს მსმენელი სხვა არავინაა, თუ არა მოსწავლე ან სტუდენტი. მულტიმედიური ინფორმაცია ერთდროულად მიეწოდება, მსმენელის, როგორც მხედველობით ასევე სმენით ორგანოებს და იწვევს მის ემოციოგენურ აღზნებას. ყოველივე ეს განსაზღვრავს მულტიმედიური ინფორმაციის დადებით თვისებებს.

მულტიმედიური ინფორმაციის ინტეგრაცია სწავლების პროცესში ერთდროულად ახდენს კომპლექსურ და ეფექტურ ზემოქმედებას სტუდენტის სენსორულ და კოგნიტურ სფეროებზე. ვიზუალური და აუდიო არხების ერთდროული სტიმულირება უზრუნველყოფს მასალის უკეთეს აღქმასა და ხანგრძლივ დამახსოვრებას, რადგან ხდება ინფორმაციის ორი კოდირების სისტემით დამუშავება.

უფრო მეტიც, მულტიმედიური მასალები, განსაკუთრებით ვიდეო, ანიმაცია და ინტერაქტიული ელემენტები, მნიშვნელოვნად აძლიერებს სტუდენტის ემოციურ ჩართულობასა და მოტივაციას. ემოციურად დატვირთული სასწავლო ინფორმაცია უფრო მდგრადია დავიწყების მიმართ, რაც პირდაპირ აისახება აკადემიურ წარმატებაზე.

პრაქტიკული თვალსაზრისით, მულტიმედიური კონტენტი განთავსების და მართვის კუთხით მაქსიმალურ მობილურობასა და კომპაქტურობას უზრუნველყოფს. სასწავლო რესურსების შენახვა კომპიუტერის როგორც შიდა, ასევე გარე მეხსიერებაზე (მაგალითად, ღრუბლოვანი სერვისებზე) ინფორმაციის ადვილ წვდომას და სწრაფ აქტუალიზაციას/განახლებას ხდის შესაძლებელს. მასალის ინტერნეტში ან პორტატულ მოწყობილობებზე განთავსება

სტუდენტებს საშუალებას აძლევს, ისწავლონ ნებისმიერ დროსა და ადგილას, რითაც რეგულირდება დისტანციური და შერეული სწავლების ეფექტურობა.

გამოკვლევებმა ცხადყო, რომ საგანმანათლებლო პროცესში მულტიმედიური ტექნოლოგიების გამოყენების პრაქტიკა მსოფლიო მასშტაბით მზარდ ტენდენციას განიცდის. ახალი თაობის ტექნიკური საშუალებები, მაგალითად, მულტიმედიური ინტერაქტიული დაფები, რომლებსაც ფუნქციური შესაძლებლობების გამო „კვიანი დაფები“ ეწოდა, უკვე აღიარებულია, როგორც სწავლის ეფექტური, მძლავრი და შეუცვლელი ინსტრუმენტული საშუალება. ეს ინსტრუმენტები ხელს უწყობს არა მხოლოდ ვიზუალიზაციას, არამედ აქტიურ ინტერაქციას სასწავლო მასალასთან.

თუმცა, აღნიშნული ტენდენციის ფონზე, პრაქტიკოსმა პედაგოგებმა ყურადღება გაამახვილეს ერთ მეტად მნიშვნელოვან პედაგოგიურ ფაქტზე: სასწავლო მასალის მულტიმედიური მიწოდების გადამეტებამ, ანუ ჭარბმა დოზირებამ, შეიძლება გამოიწვიოს ე.წ. „კოგნიტური გადატვირთვა“ (Cognitive Overload). ამან, თავის მხრივ, განაპირობა სტუდენტების მიერ შესასწავლი მასალის არასიღრმისეული, ანუ ზედაპირული შეთვისება [3, 4]. ამიტომ, მულტიმედიური ინსტრუმენტების გამოყენება მოითხოვს გააზრებულ მეთოდოლოგიას და დოზირებას.

სლაიდ-ჩვენებების (პრეზენტაციების) გამოყენება პედაგოგმა უნდა მოახდინოს სტრატეგიულად და მხოლოდ მასალის იმ ნაწილისათვის, რომელიც ტრადიციულად სრულდებოდა დაფაზე ცარცის გამოყენებით, ან წინასწარ მომზადებული თვალსაჩინოებებით (პლაკატებით). სლაიდ-ჩვენებები ძირითადად უნდა შეიცავდეს ლექციის მსვლელობის ლოგიკურ სტრუქტურას, საკვანძო ტერმინებსა და სქემატურ ნაწილს.

მნიშვნელოვანია, რომ სლაიდ-ჩვენება არ გავავიგოთ ელექტრონულ სახელმძღვანელოებთან ან საწვრთნელ პროგრამებთან (ტრენაჟორები), რომლებსაც გააჩნიათ სრულიად განსხვავებული დიდაქტიკური დანიშნულება და დამოუკიდებელი სწავლის ფუნქცია. სლაიდ-ჩვენება, პირველ რიგში, უნდა იქნეს მიმართული იმ დროის დაზოგვისა და ეფექტურად გამოყენებისაკენ, რომელსაც პედაგოგი ჰპარგავდა ტრადიციული მეთოდებისა და თვალსაჩინოებების მომზადებისა და გამოყენების პროცესში.

ლექციის მულტიმედიური მსვლელობის დროს, სტუდენტის მხრიდან პასიურობა (მხოლოდ სლაიდების ყურება და ტექსტების მოსმენა) არის ინფორმაციის დავიწყების რისკ-ფაქტორი. კვლევები ადასტურებს, რომ თუ სტუდენტი არ ჩაიწერს ძირითად მომენტებს, არ გამოჰყოფს და არ დააფიქსირებს თავისი ხელით უმთავრეს ინფორმაციას, ის მასალას ადვილად დაივიწყებს. შესაბამისად, მულტიმედიური ლექციის დროს ყველაზე აუცილებელია არა მხოლოდ ვიზუალური და აუდიო ალქმა, არამედ ინტერაქტიური ურთიერთქმედების რეალიზება, რაც გულისხმობს შენიშვნების აღებას, აქტიურ კითხვა-პასუხს და მასალის კრიტიკულ ანალიზში ჩართვას, რაც ხელს უწყობს მასალის ღრმა კოგნიტურ დამუშავებას.

3.დასკვნა.

სასწავლო პროცესში მულტიმედიური ტექნოლოგიების ინტეგრაცია, მიუხედავად მისი უდავო პოტენციალისა სენსორული და ემოციური ჩართულობის გაზრდის კუთხით, არ უნდა იყოს სპონტანური ან გადამეტებული. სასწავლო მულტიმედიური ინფორმაციის მომზადება და მიწოდება მოითხოვს მკაცრ დიდაქტიკურ და პედაგოგიურ მიდგომას, რაც მხოლოდ მეცნიერული კვლევებისა და სისტემური ანალიზის საშუალებით შეიძლება მოხერხდეს.

შესაბამისად, მულტიმედიური სწავლების წარმატება დამოკიდებულია არა მხოლოდ ტექნოლოგიური საშუალებების ხელმისაწვდომობაზე, არამედ იმაზე, თუ რამდენად ეფექტურად გამოიყენება დიდაქტიკური პრინციპები ამ საშუალებების კოგნიტური ტვირთის მართვისა და სიღრმისეული შეთვისების უზრუნველსაყოფად.

გამოყენებული ლიტერატურა:

1. ანანიაშვილი გულაბერ, ყიფშიძე ზურაბ, თხილაიშვილი რიმა „ოპტიმიზაციის ამოცანის ფორმალიზაციის შესახებ“. II საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენციის: კომპიუტინგი/ინფორმატიკა, განათლების მეცნიერებები, მასწავლებლის განათლება. მოხსენებათა თეზისები. ბათუმი 2012. გვ. 27.
2. ყიფშიძე ზ., ანანიაშვილი გ., ქავთარაძე ნ. „ცოდნის ათვისების სისტემური წარმოდგენის შესახებ“, ჟურნალი „ინტელქტი“. თბილისი 2012 წ.
3. <http://ims2002.nw.ru/02-r3f04.html>.
4. <http://www.fos.ru/pedagog/9400.html>

Principles of Information System Management Optimization and Interactive Tools Used in Teaching

Rima Tkhilaishvili, Nino Khujadze, Didar Didmanidze

Batumi Shota Rustaveli State University

rima.tkhilaishvili@bsu.edu.ge, nino.khujadze@bsu.edu.ge, didir.didmanidze@bsu.edu.ge

Abstract

In the conditions of dynamic development of information technologies and based on a specific consideration of code structures, it is possible to develop principles for optimizing the management process of a complex information system and their implementation in teaching and upbringing. This issue can be solved through redundant code structures, because the localization of errors and their correction is essentially the return of an information system that has gone out of equilibrium to its initial equilibrium state. Therefore, the code model is not only a means of locating and correcting errors, but also represents an organization and management model.

Keywords: information system, management process, optimization principles, interactive tools.

Supporting English Learners: Overcoming Anxiety and Building Confidence

Medea Diasamidze, Nino Samnidze

Batumi Shota Rustaveli State University

nino.samnidze@bsu.edu.ge, medea.diasamidze@bsu.edu.ge

Abstract

Learning English is not merely the acquisition of grammar rules and vocabulary; it is a deeply human process influenced by learners' motivation, emotional states, and self-belief. Many students face challenges such as anxiety, fear of making mistakes, or low confidence, which can hinder their participation and progress. This paper explores how psychological factors—including motivation, self-efficacy, and affective barriers—impact English language learning, and how teachers can apply practical strategies to address these challenges. Drawing on foundational theories from Gardner, Krashen, Vygotsky, Deci & Ryan, and MacIntyre, the study combines a comprehensive literature review, detailed classroom observations, and a case-based analysis of first-year economics students at the A2 English level. The findings illustrate that when teachers create supportive, engaging, and psychologically-informed learning environments, students are more willing to take risks, actively participate, and gradually transform from hesitant learners into confident users of English. Ultimately, the paper demonstrates that attending to the psychological dimensions of learning not only enhances language proficiency but also fosters resilience, self-assurance, and a lifelong enthusiasm for personal and academic growth.

Keywords: English language learning, educational psychology, second language acquisition, motivation, learner psychology, teaching strategies

1. Introduction.

Supporting English Learners: Overcoming Anxiety and Building Confidence

The global role of English as a lingua franca has made it one of the most studied and taught languages worldwide. Mastery of English provides access to international education, research, and professional opportunities. Yet, despite its importance, many learners struggle with language acquisition, not because of lack of ability, but because of psychological barriers such as low motivation, high anxiety, or poor self-confidence.

Educational psychology offers valuable insights into these barriers and provides strategies for overcoming them. Theories of motivation, social interaction, and affective factors highlight the importance of viewing language learners as whole individuals rather than as passive recipients of linguistic input. A psychologically informed approach to English teaching recognizes that language acquisition is a dynamic interplay between cognitive skills, emotional states, and social contexts.

2. Literature Review.

Understanding the psychological aspects of learning English requires a careful look at both motivation and emotion, as these factors shape how students engage with the language. Gardner (1985) emphasized that students' attitudes toward the language and its speakers play a central role in learning outcomes. He distinguished between **integrative motivation**, where learners are driven by a genuine interest in connecting with the culture, and **instrumental motivation**, which focuses on practical

benefits such as academic achievement or career opportunities. Dörnyei (2001) built on this by showing that motivation is not static; it can fluctuate over time and be influenced by classroom dynamics, teacher behavior, and goal-setting strategies.

Emotional factors, particularly anxiety, have a powerful effect on language learning. Krashen's (1982) **Affective Filter Hypothesis** suggests that stress, fear of mistakes, or low self-esteem can act as barriers, limiting students' ability to absorb and process language input. MacIntyre and Gardner (1991) further highlighted that speaking anxiety is one of the most common obstacles, often leading learners to avoid communication entirely. Teachers who create supportive, encouraging environments can lower this affective filter, making language acquisition more effective.

Motivation and emotion are closely tied to self-efficacy and learner autonomy. Bandura's (1997) concept of self-efficacy emphasizes that students who believe in their ability to succeed are more likely to take risks, persevere, and achieve higher levels of competence. Deci and Ryan's (1985) **Self-Determination Theory** complements this view, arguing that fostering autonomy, competence, and relatedness enhances intrinsic motivation, making learning more meaningful and sustainable.

Sociocultural perspectives provide additional insight. Vygotsky (1978) argued that learning is inherently social: students internalize knowledge through interaction with teachers and peers. Ellis (2008) reinforced this, showing that meaningful communicative exchanges allow learners to notice gaps in their language and refine their skills in real-time. Oxford (1990) further emphasized the importance of teaching students **learning strategies**-cognitive, metacognitive, affective, and social-that help them take control of their own learning process.

Taken together, these studies suggest that language learning is deeply human: it involves emotions, beliefs, social interaction, and cognitive strategies. The literature points to a consistent conclusion-teachers who attend to these psychological dimensions, while providing structured opportunities for practice and reflection, can significantly enhance both student engagement and language outcomes.

3. Discussion.

The process of learning English is not simply about mastering grammar or memorizing vocabulary; it is deeply intertwined with learners' emotions, motivation, and cognitive styles. Motivation, for instance, plays a central role in determining how engaged students are in the classroom. Research shows that learners who are intrinsically motivated-driven by curiosity, personal goals, or a desire to connect with English-speaking communities-tend to persist longer and achieve better outcomes than those motivated solely by external rewards. Teachers can nurture this intrinsic motivation by making lessons relevant to students' lives, highlighting personal goals, and helping learners envision themselves as competent English speakers.

Emotional factors, particularly anxiety and self-doubt, are equally significant. Many students experience fear of making mistakes or being judged, which can prevent them from participating in discussions or practicing speaking. By creating a supportive classroom environment-where mistakes are normalized and celebrated as opportunities to learn-teachers can lower students' affective filters, increasing both confidence and willingness to communicate. Activities such as warm-up games, reflective journaling, and scaffolded role-plays help students gradually overcome their anxiety while experiencing small, tangible successes.

Cognitive diversity also shapes learning. Students bring different learning styles and strategies into the classroom-some respond best to visual aids, others to auditory input or hands-on practice. Teachers

who differentiate instruction and provide multiple modes of engagement allow all learners to access the material in ways that suit them, while encouraging metacognitive reflection helps students understand which strategies work best for their individual learning.

The teacher's role extends beyond facilitating learning to fostering holistic development. Through encouragement, constructive feedback, and empathetic attention to students' emotional states, teachers help learners build self-efficacy and resilience. When paired with collaborative learning opportunities, these practices not only enhance language proficiency but also strengthen social skills, teamwork, and personal growth.

Ultimately, the discussion highlights that psychological factors are not peripheral to English learning—they are central. Motivation, anxiety, self-efficacy, and cognitive strategies interact dynamically, influencing how students participate, persist, and progress. Understanding this interplay enables teachers to design lessons that are both academically effective and emotionally supportive, creating classrooms where students feel empowered to take risks, make mistakes, and grow both linguistically and personally.

At the start of the semester, a group of 40 first-year economics students at the A2 English level faced a common challenge: many were hesitant to speak in English, feeling anxious about making mistakes or being judged by their peers. Some preferred to remain silent during discussions, while others relied mainly on memorization rather than actively practicing the language. Recognizing these challenges, the teacher implemented a structured, multi-step approach grounded in psychological theory. Initially, low-stakes activities such as guided dialogues and paired conversations were introduced. Over the following weeks, the activities gradually increased in complexity. Students participated in small group discussions, role-plays simulating real-world scenarios such as ordering in a restaurant or presenting a business idea, and collaborative projects that encouraged peer teaching. To address language anxiety, short warm-up games and relaxation exercises were incorporated at the start of each class. Reflective journals were introduced, giving students a safe space to record challenges, celebrate progress, and set personal learning goals.

After six weeks, the transformation was notable. Classroom observations indicated increased voluntary participation, more risk-taking in communication, and a noticeable improvement in confidence. Quantitative measures, using the Foreign Language Classroom Anxiety Scale (Horwitz, 1986), showed a 20% reduction in self-reported anxiety levels. Students reported that role-play activities made learning enjoyable and that receiving constructive feedback in a supportive environment boosted their motivation. One student commented, *"I used to be afraid to speak in English, but now I feel more confident because I know mistakes are part of learning."* Another noted that group projects helped them learn from peers while feeling less pressure to perform perfectly.

This case demonstrates the dynamic interplay of motivation, self-efficacy, emotional support, and strategic scaffolding in the language classroom. It highlights that psychological interventions are not abstract concepts but practical tools that can transform student experiences. By combining structured support, empathy, and opportunities for reflection, teachers can create an environment where learners not only improve their English skills but also develop confidence, resilience, and a positive attitude toward learning.

This study draws on a combination of literature review, classroom observation, and case-based reflection to explore how psychological principles can be applied in English language teaching. First, a thorough review of key theories in educational psychology and second language acquisition was

conducted, including motivation, anxiety, self-efficacy, and learner strategies. This provided a conceptual foundation for understanding the interplay between psychology and language learning.

Second, classroom observations were carried out in an A2-level English course for first-year economics students. The observations focused not only on students' language performance but also on their engagement, confidence, emotional responses, and participation patterns. Attention was paid to how different teaching strategies-such as guided dialogues, group work, role-plays, and reflective activities-affected students' motivation and willingness to communicate.

Finally, a case-based reflection was included, documenting the experiences of a representative group of students as they progressed through the semester. The case emphasized the practical application of psychological principles, highlighting both successes and challenges. While this study is qualitative rather than experimental, literature review, observation, and case illustration provides a rich understanding of the human side of English learning and teaching.

4. Recommendations.

From a teacher's point of view, helping students learn English is not only about choosing the right textbooks or activities, but also about understanding the people behind the language. Students need to feel that the classroom is a safe space, where making mistakes is seen as a natural and even necessary step in learning, not something to be embarrassed about. When teachers show encouragement, humor, and patience, students often find the courage to take risks and speak more freely. Motivation grows when lessons are connected to students' real lives-whether to their studies, future careers, or personal interests-and when teachers help them imagine themselves as confident English speakers. Giving students a sense of ownership over their learning, for example by letting them choose topics or reflect on their own progress, also builds confidence and responsibility. Because every learner is different, teachers should be attentive to varied learning styles and adapt activities to suit visual, auditory, or hands-on learners, while carefully guiding students step by step so that tasks are challenging but achievable. At the same time, it is important to be sensitive to students' emotions: a reassuring word, a private piece of feedback, or even a short warm-up game can reduce the anxiety that often surrounds speaking in a foreign language. Group work and peer support are also powerful tools, making students feel less isolated and more supported by their classmates. Finally, teachers themselves benefit from reflection-taking time to think about what worked well in class, what could be improved, and even asking students for their perspectives. In this way, teachers do more than transmit knowledge; they become partners in their students' personal and linguistic growth, unlocking not only their ability to use English but also their confidence in themselves.

4. Conclusion.

The psychology of learning English reminds us that teaching is not only about transferring grammar rules and vocabulary lists but about guiding people on a journey of growth. Students bring their emotions, motivations, and self-beliefs into the classroom, and these factors often determine whether they flourish or hold back. When teachers understand the power of motivation, the importance of confidence, and the impact of anxiety, they can respond with empathy and strategies that truly unlock potential. Theories from Gardner, Krashen, Vygotsky, and others give us valuable frameworks, but it is in everyday classroom-when a shy student finally dares to speak, or when a learner realizes they are capable of more than they thought-that these ideas come alive. For the future, English

education should place equal weight on the human side of learning as it does on academic content. Teacher training programs must prepare educators not just to teach a language but to recognize the psychological needs of their learners. Researchers have a role to play in ensuring that psychological insights are embedded into curricula and teaching materials. Most importantly, teachers themselves should feel empowered to bring empathy, creativity, and reflection into their practice. In the end, learning English is not only about mastering a global language—it is about building resilience, confidence, and connections. When education recognizes and supports the whole person, students leave the classroom not just as better speakers of English, but as stronger, more self-assured individuals ready to engage with the wider world.

References:

1. Bandura, A. (1997). *Self-efficacy: The exercise of control*. Freeman.
2. Deci, E. L., & Ryan, R. M. (1985). *Intrinsic motivation and self-determination in human behavior*. Springer.
3. Dörnyei, Z. (2001). *Motivational strategies in the language classroom*. Cambridge University Press.
4. Ellis, R. (2008). *The study of second language acquisition* (2nd ed.). Oxford University Press.
5. Gardner, R. C. (1985). *Social psychology and second language learning: The role of attitudes and motivation*. Edward Arnold.
6. Horwitz, E. K. (1986). Preliminary evidence for the reliability and validity of a foreign language anxiety scale. *TESOL Quarterly*, 20(3), 559–562.
7. Krashen, S. D. (1982). *Principles and practice in second language acquisition*. Pergamon Press.
8. MacIntyre, P. D., & Gardner, R. C. (1991). Methods and results in the study of anxiety and language learning. *Language Learning*, 41(1), 85–117.
9. Oxford, R. (1990). *Language learning strategies: What every teacher should know*. Newbury House.
10. Vygotsky, L. S. (1978). *Mind in society: The development of higher psychological processes*. Harvard University Press.

ინგლისურის შემსწავლელთა მხარდაჭერა: შფოთვის დაძლევა და თავდაჯერებულობის გაზრდა

მედეა დიასამიძე, ნინო სამნიძე

ბათუმის შოთა რუსთაველის სახელმწიფო უნივერსიტეტი

nino.samnidze@bsu.edu.ge, medea.diasamidze@bsu.edu.ge

რეზიუმე

ინგლისური ენის შესწავლა არ არის მხოლოდ გრამატიკული წესებისა და ლექსიკური ერთეულების დაუფლება, იგი წარმოადგენს ღრმა პროცესს, რომელზეც მნიშვნელოვან გავლენას ახდენს სტუდენტთა მოტივაცია, ემოციური მდგომარეობა და თვითეფექტურობის განცდა. ხშირია შემთხვევები, როდესაც სტუდენტები აწყდებიან ისეთ სირთულეებს, როგორიცაა შფოთვა, შეცდომის დაშვების შიში ან დაბალი თვითრწმენა, რაც ზღუდავს მათ ჩართულობასა და პროგრესს სწავლის პროცესში.

მოცემული კვლევა განიხილავს ფსიქოლოგიური ფაქტორების დამლევის პრაქტიკულ სტრატეგიებს, რომლითაც შესაძლებელია აღნიშნული სირთულეების დამლევა. კვლევა ეფუძნება Gardner-ის, Krashen-ის, Vygotsky-ს, Deci და Ryan-ის, ასევე MacIntyre-ის თეორიულ საფუძვლებს, საკლასო პროცესის დეტალურ დაკვირვებებსა და შემთხვევებზე დაფუძნებულ ანალიზს ეკონომიკის ფაკულტეტის პირველკურსელ სტუდენტთა (A2 დონის ინგლისური) მაგალითზე. მიღებული შედეგები ცხადყოფს, რომ ფსიქოლოგიურ ასპექტებზე გათვლილი, მხარდაჭერითი და ჩართულობაზე ორიენტირებული სასწავლო გარემო ხელს უწყობს სტუდენტების აქტიურობას, სტუდენტების ავტონომიურობის გაზრდას, მზაობას და მათ თანდათან გარდაქმნას ინგლისური ენის თავდაჯერებულ შემსწავლელებად. საბოლოო ჯამში, ნაშრომი ადასტურებს, რომ სწავლის ფსიქოლოგიურ განზომილებებზე ყურადღების გამახვილება არა მხოლოდ აუმჯობესებს ენობრივ კომპეტენციას, არამედ აწვითარებს ისეთ ფსიქოლოგიურ ფაქტორებს, როგორიცაა თვითდაჯერებულობა, მოტივაცია და პიროვნული და აკადემიური განვითარებისადმი ხანგრძლივ სწარაფვას.

საკვანძო სიტყვები: ინგლისური ენის შესწავლა, საგანმანათლებლო ფსიქოლოგია, მეორე ენის შეძენა, მოტივაცია, შემსწავლელის ფსიქოლოგია, სწავლების სტრატეგიები

სივრცითი ხანმოკლე მეხსიერების დაქვეითება ალკოჰოლ დამოკიდებულ პაციენტებში

თამარ ასანიძე¹, ირინე ცინცაძე², ნინო ფილია³

¹ბათუმის შოთა რუსთაველის სახელმწიფო უნივერსიტეტი

²ბათუმის სამედიცინო უნივერსიტეტი ავიცენა

³მაღალტექნოლოგიური ჰოსპიტალი მედცენტრი

asanidze.tamari@bsu.edu.ge

რეზიუმე

ალკოჰოლზე დამოკიდებულების მქონე პაციენტებს აღენიშნებათ მრავალი კოგნიტური ფუნქციის დარღვევა. ეს იწვევს ალკოჰოლის მოხმარების კონტროლის შეუძლებლობას, ალკოჰოლის რეციდივს ან გაგრძელებას. უარყოფითი ფიზიკური, ფსიქოლოგიური და სოციალური შედეგების მიუხედავად, აღმასრულებელი კონტროლი გულისხმობს კოგნიტური ფუნქციების ჯგუფს, რომელიც საშუალებას აძლევს ადამიანებს დამოუკიდებლად დაარეგულირონ თავიანთი ქცევა და აირჩიონ შესაბამისი ქმედებები მათი გრძელვადიანი მიზნებიდან გამომდინარე. სივრცითი აქტიური მეხსიერება (WM) აღმასრულებელი კონტროლის ერთ-ერთი მთავარი კომპონენტია, ჩვენი მიზანი იყო სივრცითი მუშა მეხსიერების ინდექსების შეფასება ალკოჰოლზე დამოკიდებულების მქონე პაციენტებში რაოდენობრივი EEG მეთოდისა და Corsi-ს კომპიუტერული ტესტის გამოყენებით.

საკვანძო სიტყვები: ალკოჰოლზე დამოკიდებულება, მუშა მეხსიერება, კორსის ტესტი, ელექტროენცეფალოგრაფია.

1.შესავალი.

ალკოჰოლის ქრონიკული მოხმარება ადამიანის ტვინზე კომპლექსურ გავლენას ახდენს, რაც უმაღლესი ფსიქიკური ფუნქციების დარღვევების სახით ვლინდება [1, 2]. როგორც მრავალი კვლევა აჩვენებს, ალკოჰოლზე დამოკიდებულების მქონე ადამიანები ხშირად ირჩევენ აშკარად შეუფერებელ ქმედებებს [2]. ალკოჰოლის მოხმარების კონტროლის შეუძლებლობა, განმეორებითი რეციდივი და ალკოჰოლის მუდმივი მოხმარების უარყოფითი ფიზიკური, ფსიქოლოგიური და სოციალური შედეგების მიუხედავად, რაც არა მხოლოდ აშლილობის დიაგნოსტიკური კრიტერიუმებია, არამედ შეიძლება მიუთითებდეს რაციონალური არჩევანის გაკეთების უნარის დარღვევაზე. ეს ნაწილობრივ აიხსნება იმით, რომ ალკოჰოლზე დამოკიდებულების მქონე პაციენტებს აღენიშნებათ კოგნიტური ფუნქციების ფართო სპექტრის დარღვევები პათოლოგიური ფიზიოლოგია და ექსპერიმენტული თერაპია, [3]. ვარაუდობენ, რომ ნივთიერებაზე დამოკიდებულების მკურნალობის ახალი სტრატეგია შეიძლება იყოს ნივთიერებაზე დამოკიდებულების შემცირება კოგნიტური დისფუნქციის გაუმჯობესებით ფარმაკოლოგიური ან ქცევითი ჩარევის გზით [4]. აღმასრულებელი კონტროლი გულისხმობს კოგნიტური ფუნქციების ჯგუფს, რომელიც საშუალებას აძლევს ადამიანებს დამოუკიდებლად დაარეგულირონ თავიანთი ქცევა და აირჩიონ შესაბამისი ქმედებები მათი გრძელვადიანი მიზნებიდან გამომდინარე [5, 6]. მუშა მეხსიერება (WM), რომელიც განისაზღვრება, როგორც ინფორმაციის მოკლე დროში შენახვისა და მანიპულირების უნარი, აღმასრულებელი კონტროლის კრიტიკული საზომია და აუცილებელია მაღალი დონის ფსიქიკური ფუნქციების თვითრეგულირებისა და გადაწყვეტილების მიღებისთვის [6]. არსებობს გონების მართვის

რამდენიმე განსხვავებული თეორიული მოდელი, თუმცა ერთ-ერთი ყველაზე ცნობილი მოდელი ვარაუდობს, რომ გონების მართვა მოიცავს ცენტრალურ აღმასრულებელ სისტემას და 2 სისტემას: ვერბალურ/არასივრცით (მაგ., რიცხვთა თანმიმდევრობის ხმამაღლა წაკითხვა) და ვიზუალურ-სივრცით (მაგ., ობიექტების თანმიმდევრობის დამახსოვრება) [7].

2. ძირითადი ტესტი.

მეთოდოცა. მოხდა 50 პაციენტის გამოკვლევა (18 ქალი და 32 მამაკაცი) შემდეგი დიაგნოზით: ფსიქოტროპული ნივთიერებების გამოყენებასთან დაკავშირებული ფსიქიკური აშლილობები და ქცევითი აშლილობები, ალკოჰოლური დამოკიდებულების სინდრომი (F10.2 ICD-10-ის მიხედვით) ინტოქსიკაციის მოხსნის შემდეგ.

ჩართვის კრიტერიუმები: დამოკიდებულებითი აშლილობის დადასტურებული დიაგნოზი ICD-10-ის მიხედვით, პაციენტის ინფორმირებული თანხმობა კვლევაში მონაწილეობის მისაღებად, ასაკი 18-50 წელი. გამორიცხვის კრიტერიუმები: ტვინის მძიმე ორგანული დარღვევების არსებობა, გონებრივი ჩამორჩენილობა, ეპილეფსია, ორსულობა. საკონტროლო ჯგუფად გამოიკვლიეს ასაკის შესაბამისი 30 ფსიქიკურად და სომატურად ჯანმრთელი ადამიანი (20 ქალი და 10 მამაკაცი).

სივრცითი ხანმოკლე მეხსიერების შესწავლა. სივრცითი ხანმოკლე მეხსიერება შესწავლილი იქნა კომპიუტერული Corsi Block Tapping ტესტის გამოყენებით. აქ მოცემულია დავალების მაგალითი. კომპიუტერის ეკრანზე ჩნდება ცხრა კუბი, რომლებიც ერთმანეთის მიყოლებით ანათებენ ყვითლად.

კვლევის თითოეულმა მონაწილემ უნდა დაიმახსოვროს და გაიმეოროს ეს თანმიმდევრობა. ტესტი იწყება ორი კუბის თანმიმდევრობით; თუ პასუხი სწორია, თანმიმდევრობის სიგრძე იზრდება. ტესტი წყდება თანმიმდევრობის ზედიზედ ორი არასწორი რეპროდუქციის შემთხვევაში.

ელექტროენცეფალოგრამის რეგისტრაცია. ტვინის ბიოელექტრული აქტივობის რეგისტრაცია და ანალიზი განხორციელდა 16-არხიანი ენცეფალოგრაფის „ნეიროპოლიგრაფის“ გამოყენებით საერთაშორისო სისტემის „10-20“ მიხედვით, მონოპოლარული შუბლის (Fp1, Fp2, F3, F4, F7, F8), ცენტრალური (C3, C4), პარიეტალური (P3, P4), კეფის (O1, O2) და საფეთქლის (T3, T4, T5, T6) განხრებიდან ყურის ბიბილოგზე განლაგებული კომბინირებული ელექტროდები გამოყენებული იყო როგორც საცნობარო, დამიწების ელექტროდი კი Fpz განხრავში იყო. ელექტროდების წინააღმდეგობა არ აღემატებოდა 10 კომს. მაღალი და დაბალი გამტარობის ფილტრების გამყოფი სიხშირეები იყო 1.5 და 30 ჰც, კვანტიზაციის სიხშირე კი 250 ჰც. თავდაპირველად, თვალების გახელით (ფონზე) ჩატარდა 2-წუთიანი ტესტი, რის შემდეგაც მონაწილემ ჩაატარა კორსის ტესტი ეგ ჩაწერის პარალელურად. არტეფაქტების ფრაგმენტები ამოღებულ იქნა მიღებული EEG ჩანაწერებიდან EEG-ის დამოუკიდებელი კომპონენტების (ICA) ნულიზაციის გზით [16].

გარდა ამისა, ავტომატური პროცედურის გამოყენებით, ეპოქები, რომლებშიც დაფიქსირდა ზედმეტად მაღალი პოტენციალი ($100 \mu V$ -ზე მეტი), გამოირიცხა შემდგომი ანალიზიდან. სიგნალები დამუშავდა სწრაფი ფურიეს გარდაქმნის გამოყენებით, გაანალიზდა θ - (4-7 Hz), α - (8-13 Hz) და β - (14-30 Hz) რიტმების აბსოლუტური სპექტრული სიმძლავრის (μV^2) მნიშვნელობები. გაანალიზებული მონაკვეთების ხანგრძლივობა ტოლი იყო მთელი ტესტის ხანგრძლივობისა.

3. სტატისტიკური ანალიზი და შედეგები.

სტატისტიკური მონაცემების დამუშავება განხორციელდა Statistica 10.0 პროგრამის გამოყენებით. ნორმალური განაწილების კანონთან შესაბამისობა შემოწმდა შაპირო-ვილკის კრიტერიუმის გამოყენებით. მიღებული მონაცემები არ შეესაბამებოდა

ნორმალური განაწილების კანონს. ორ დამოკიდებულ ნიმუშს შორის განსხვავებების შესაფასებლად გამოყენებული იქნა არაპარამეტრული ვილკოქსონის W-ტესტი (ფონი vs. ტესტი), ხოლო ორ დამოუკიდებელ ნიმუშს შორის განსხვავებების შესაფასებლად გამოყენებული იქნა მენ-უიტნის U-ტესტი (კონტროლი vs. პაციენტები). განსხვავებები სტატისტიკურად მნიშვნელოვნად ჩაითვალა $p < 0.05$ -ზე.

მონაცემთა ნაკრების ანალიზისას, სტატისტიკურად მნიშვნელოვანი განსხვავებები იქნა მიღებული კოგნიტური ფუნქციონირების დონეზე და ელექტროენცეფალოგრაფიულ პარამეტრებში.

კორსის ტესტის შედეგები კვლევის ჯგუფებში. კორსის ტესტის შედეგები საკონტროლო ჯგუფში და ალკოჰოლური დამოკიდებულების სინდრომის მქონე პაციენტების ჯგუფში სწორად რეპროდუცირებული თანმიმდევრობების მაქსიმალური რაოდენობის (RP მოცულობა) სტატისტიკურად მნიშვნელოვანი შემცირება აღინიშნა ალკოჰოლური დამოკიდებულების სინდრომის მქონე პაციენტებში საკონტროლო ჯგუფთან შედარებით.

ნეიროფიზიოლოგიური კვლევის შედეგები. თავის გახელისას თავის ტვინის ქერქის ფონური აქტივობის ანალიზმა არ გამოავლინა სტატისტიკურად მნიშვნელოვანი განსხვავებები ალკოჰოლური დამოკიდებულების მქონე პაციენტებსა და საკონტროლო ჯგუფს შორის EEG სიხშირის ყველა დიაპაზონში ($p > 0.05$).

ალფა რიტმი. ალფა რიტმის სპექტრული სიმძლავრის სტატისტიკურმა ანალიზმა გამოავლინა ალფა სიმძლავრის სტატისტიკურად მნიშვნელოვანი შემცირება ქერქის ცენტრალურ ($p = 0.012$) და პარიეტალურ ($p = 0.04$) ზონებში საკონტროლო ჯგუფში, კორსის ტესტის ჩატარებისას. ალკოჰოლური დამოკიდებულების სინდრომის მქონე პაციენტების ჯგუფში, კოგნიტური დატვირთვის საპასუხოდ, ალფა სიმძლავრის სტატისტიკურად მნიშვნელოვანი შემცირება აღმოჩნდა თავის ტვინის ქერქის შუბლის ($p = 0.002$), ცენტრალური ($p = 0.0001$), პარიეტალური ($p = 0.0002$) და მარცხენა საფეთქლის ($p = 0.002$) ზონებში

არაერთმა კვლევამ აჩვენა, რომ ალკოჰოლური დამოკიდებულების სინდრომის მქონე პაციენტებს აღენიშნებათ კოგნიტური ფუნქციის დარღვევა, მათ შორის ისეთი ფსიქიკური ფუნქციების დარღვევა, როგორიცაა ინჰიბირება, რეფლექსია და კოგნიტური მოქნილობა [8, 9]. ალკოჰოლზე დამოკიდებულების დროს აღმასრულებელი ფუნქციების დარღვევა ვლინდება გაზრდილი იმპულსური ქცევის სახით (მომავალი შედეგების გათვალისწინების გარეშე შეუფერებელი ქცევისკენ მიდრეკილება) [10]. დაბალი საბაზისო RP მოცულობა მოზარდებში ალკოჰოლის მოხმარებას პროგნოზირებს [11]. სივრცითი RP-ის შესაფასებლად, ბევრი მკვლევარი იყენებს Corsi Block-Tapping ტესტს, რომელმაც აჩვენა მაღალი მგრძნობელობა და სპეციფიკურობა RP დეფექტების იდენტიფიცირებაში [12]. ნეიროფიზიოლოგიური კვლევებით დადგინდა, რომ პრეფრონტალური და პარიეტალური ქერქი მონაწილეობს სივრცითი მუშა მეხსიერების პროცესში. კერძოდ, დორსოლატერალური პრეფრონტალური ქერქი მონაწილეობს სივრცითი ინფორმაციის მანიპულირებაში, ხოლო პარიეტალური ქერქი - მის შენახვაში [14]. სივრცითი WM ამოცანების შესრულებისას ჯანმრთელ კონტროლ ჯგუფებში შეინიშნება დორსოლატერალური პრეფრონტალური ქერქის, უკანა პარიეტალური ქერქის და

ნათხემის აქტივობის მომატება [13, 14]. რადგან ქრონიკული ალკოჰოლის მოხმარება ასოცირდება როგორც პრეფრონტალური, ასევე პარიეტალური ქერქის დისფუნქციასთან, მრავალმა კვლევამ შეისწავლა სივრცითი WM დეფიციტი ალკოჰოლზე დამოკიდებულების მქონე პაციენტებში [13, 15]. მიუხედავად იმისა, რომ ნეიროვიზუალიზაციის კვლევებმა გამოავლინა ტვინის უბნები, რომლებიც მონაწილეობენ სივრცითი მუშა მესხიერების ფორმირებაში, ეს მონაცემები შეზღუდულ ინფორმაციას გვაწვდის სივრცითი სამუშაო მესხიერების ფორმირების ეტაპების თანმიმდევრობის შესახებ. ელექტროენცეფალოგრაფია (EEG) არის დროში სინქრონიზებული სტიმულებით გამოწვეული ბიოელექტრული აქტივობის შეფასების მეთოდი და ფართოდ გამოიყენება კოგნიტური ფუნქციების, მათ შორის მუშა მესხიერების შესაფასებლად, EEG-ს მაღალი დროითი გარჩევადობის გამო. თუმცა, კორსის ტესტის გამოყენებით ჩატარებული კვლევები და ელექტროენცეფალოგრამის პარამეტრების შესწავლა კონკრეტულად ალკოჰოლზე დამოკიდებულ პაციენტებში შეზღუდულია. კვლევის მიზანია ალკოჰოლური დამოკიდებულების სინდრომის მქონე პაციენტებში სივრცითი სამუშაო მესხიერების შესწავლა რაოდენობრივი ევგ მეთოდისა და კომპიუტერიზებული კორსის ტესტის გამოყენებით. მეთოდოლოგია კვლევა ჩატარდა მსოფლიო სამედიცინო ასოციაციის ჰელსინკის დეკლარაციის (1964, 2004) ეთიკური სტანდარტებისა და ყველა პაციენტის წერილობითი ნებაყოფლობითი ინფორმირებული თანხმობის შესაბამისად. კვლევა ჩატარდა ბათუმის მაღალტექნოლოგიური ჰოსპიტალ მედიცინის ცენტრის კლინიკის ნევროლოგიურ განყოფილებაში. დეტოქსიკაციის შემდეგ გამოიკვლიეს სულ 50 პაციენტი (18 ქალი და 32 მამაკაცი), რომლებსაც დაუსვეს ფსიქოსომატური ნივთიერებების მოხმარებასთან დაკავშირებული ფსიქიკური და ქცევითი დარღვევების, ალკოჰოლური დამოკიდებულების სინდრომის (ICD-10-ის მიხედვით F10.2) დიაგნოზი. ჩართვის კრიტერიუმები: დამოკიდებულების დარღვევის დადასტურებული დიაგნოზი ICD-10-ის მიხედვით, პაციენტის ინფორმირებული თანხმობა კვლევაში მონაწილეობაზე.

4. დასკვნა.

მიღებული შედეგებით, მონაცემები ალკოჰოლური დამოკიდებულების სინდრომის მქონე პაციენტებში აღმასრულებელი კონტროლის დარღვევის შესახებ. ევგ პარამეტრები ასახავს კოგნიტური ფუნქციის ცვლილებებს, რაც გამოიხატება ევგ რიტმების სპექტრული მახასიათებლების განსხვავებებით პაციენტებში.

მიღებული შედეგები ალკოჰოლური დამოკიდებულ და ჯანმრთელი ადამიანების. შედეგების შედარებისას, შეიძლება გამოყენებულ იქნას, როგორც დამატებითი დიაგნოსტიკური კრიტერიუმები კოგნიტური დარღვევისთვის ალკოჰოლური დამოკიდებულების სინდრომის მქონე პაციენტებში.

გამოყენებული ლიტერატურა:

1. Nevidimova T.I., Savochkina D.N., Masterova E.I., Bokhan N.A. Results and prospects of interaction of sensory and immune systems in addictive disorders. *Sibirskiy vestnik psikiatrii i narkologii*. 2018; (2): 56-63. (In Russian)
2. Bokhan N.A., Mandel A.I., Ivanova S.A., Prokopeva V.D., Artemev I.A., Nevidimova T.I. et al. Old and new problems of narcology in the context of interdisciplinary research. *Voprosy narkologii*. 2017; (1): 26-62. (In Russian)
3. Maximova I.V. Cognitive and electroencephalographic changes in patients with alcohol dependence who suffered a seizure. *Sibirskiy vestnik psikiatrii i narkologii*. 2018; (2): 89-92. (In Russian)

4. Sofuoglu M., DeVito E., Waters A., Carroll K. Cognitive enhancement as a treatment for drug addictions. *Neuropharmacology*. 2013; (1): 452-63. doi: 10.1016/j.neuropharm.2012.06.021
5. Velichkovsky B.B. Possibilities of cognitive training as a method of correction of age-related disorders of cognitive control. *Eksperimental'naya psikhologiya*. 2009; (3) 78-91. (In Russian)
6. Buckley J., Cohen J., Kramer A., McAuley E., Mullen S. Cognitive control in the self-regulation of physical activity and sedentary behavior. *Front. Hum. Neurosci.* 2014; (8). doi: 10.3389/fnhum.2014.00747
7. Hills T., Todd P., Goldstone R. The central executive as a search process: priming exploration and exploitation across domains. *J. Exp. Psychol. Gen.* 2010; (4): 590-609. doi: 10.1037/a0020666
8. Bernardin F., Maheut-Bosser A., Paille F. Cognitive impairments in alcohol-dependent subjects. *Front. Psychiatry*. 2014; (5). doi: 10.3389/fpsy.2014.00078
9. Peshkovskaya A.G., Galkin S.A. Cognitive control in alcohol dependence and its neurocorrelates. *Voprosy narkologii*. 2018; (12): 65-80. (In Russian)
10. Somkina O.Yu. Alcohol dependence in women and autoaggressive behavior. *Zdravookhranenie Jugry: opyt i innovatsii*. 2018; (3): 47-52. (In Russian)
11. Squeglia L., Jacobus J., Nguyen-Louie T., Tapert S. Inhibition during early adolescence predicts alcohol and marijuana use by late adolescence. *Neuropsychology*. 2014; (5): 782-90. doi: 10.1037/neu0000083
12. Brunetti R., Del Gatto C., Delogu F. eCorsi: implementation and testing of the Corsi block-tapping task for digital tablets. *Front. Psychol.* 2014; (5). doi: 10.3389/fpsyg.2014.00939
13. Tarumov D.A., Yatmanov A.N., Manantsev P.A. Neuroimaging aspects of some mental disorders. *Vestnik novykh meditsinskikh tekhnologiy*. 2017; (4): 56-65. (In Russian)
14. Cannon T., Glahn D., Kim J., Van T., Karlsgodt K., Cohen M. et al. Dorsolateral prefrontal cortex activity during maintenance and manipulation of information in working memory in patients with schizophrenia. *Arch. Gen. Psychiatry*. 2005; (10): 1071-80. doi: 10.1001/archpsyc.62.10.1071
15. Vostrikov V.V., Zelentsov K.E., Mayorova O.V., Vostrikov M.V., Pavlenko V.P., Shabanov P.D. Methods for diagnosing alcohol dependence. *Obzory po klinicheskoy farmakologii i lekarstvennoy terapii*. 2008; (4): 26-50. (In Russian)
16. Monakhova Yu.B., Tsikin A.M., Mushtakova S.P. the independent component Method as an alternative to the principal component method and discriminant algorithms in processing spectrometric data. *Zhurnal analiticheskoy khimii*. 2015; (9): 925-32. (In Russian)

Disturbance of spatial working memory and its neurophysiological correlates in alcohol dependence

Tamar Asanidze¹, Irine Tsintsadze², Nino Filia³

¹Batumi Shota Rustaveli State University

²Batumi Medical University Avicenna

³High-Technology Hospital Medcenter

asanidze.tamari@bsu.edu.ge

Abstract

Patients with alcohol dependence have disorders of multiple cognitive functions. This leads to inability to control alcohol consumption, relapse or continued use of alcohol despite negative physical, psychological, and social consequences. Executive control refers to a group of cognitive functions that allow people to regulate independently their behavior and to choose appropriate actions depending on their long-term goals. Working memory (WM) is one of the main components of the executive control.

The aim of the study was to evaluate indexes of spatial working memory in patients with alcohol dependence syndrome using the quantitative EEG method and the Corsi computer test.

Methods. 50 patients diagnosed with alcohol dependence (F10.2 on MKB-10) were evaluated after detoxification. The control group consisted of 30 mentally and somatically healthy, age-matched subjects. The study of spatial working memory was performed by a Corsi computer test (Corsi Block-Tapping). 16-channel EEGs were recorded at background with open eyes and during the Corsi test. Spectral power absolute values of θ – , α – and β – rhythms were analyzed.

Results. According to the Corsi test in alcohol dependence, the WM volume was markedly decreased compared to the healthy control group. Changes in EEG during the Corsi test in patients with alcohol dependence syndrome were associated with alphas rhythm desynchronization in the prefrontal cortex and left temporal locus, which was not observed in the healthy control group. Decreased beta rhythm was observed in the central and parietal cortex of patients with alcohol dependence syndrome in response to a cognitive stimulus. In patients with alcohol dependence syndrome, theta power was significantly increased in the occipital cortex in response to a cognitive stimulus, and theta activity was significantly greater in the right temporal locus.

Conclusion. The results of this study may serve as additional diagnostic criteria for cognitive disorders in patients with alcohol dependence syndrome.

Keywords: alcohol dependence; working memory; Corsi test; electroencephalography.

არაფორმალური განათლების როლი სკოლაში

მარინა დიდმანიძე¹, კუჭავა მანანა², დიდარ დიდმანიძე³

¹ქალაქ ბათუმის N 25 საჯარო სკოლა

²ქალაქ ბათუმის N 3 საჯარო სკოლა

³ახალსოფლის საჯარო სკოლა

mari.didmanidze@gmail.com, maku57@mail.ru, ddidari1966@gmail.com

რეზიუმე

არაფორმალური განათლების როლი დიდია სასკოლო ცხოვრებაში, ის იძლევა არა მხოლოდ აკადემიურ ცოდნას, არამედ ისეთ უნარებს (მაგალითად კომუნიკაციის, გუნდურობის, შემოქმედებითად აზროვნების უნარები და სხვა), რომელიც ხელს უწყობს ადამიანის საზოგადოებაში წარმატებით ინტეგრირებას და მის რეალიზაციას. არაფორმალური განათლება ხელს უწყობს ფორმალურ სასწავლო დაწესებულებებში (ბაღი, სკოლა, პროფ. სასწავლებელი) შედეგების გაუმჯობესებას. ეს არის ფორმალური განათლების გაგრძელება, რომელიც ხელს უწყობს მოსწავლეებში წიგნიერების, ციფრული უნარების, ცხოვრებისეული და სოციალურ-კულტურული უნარების განვითარებას. ამ უნარების დაუფლებით მოსწავლე დამოუკიდებელი ცხოვრებისთვის ემზადება და ხდება თავდაჯერებული.

საკვანძო სიტყვები: არაფორმალური განათლება, სასკოლო ცხოვრება, შემოქმედებითად აზროვნების უნარები.

1. შესავალი.

არაფორმალური განათლების დროს მოსწავლე არ არის შეფასებაზე დამოკიდებული, ამიტომ თავს კარგად გრძნობს და შეუძლია საკუთარი შესაძლებლობების მაქსიმალურად გამოვლენა. ის არ არის დამაბული და არც დროში შეზღუდული. ასეთი სწავლებისას მოსწავლე მხოლოდ მასწავლებლისგან კი არ სწავლობს, არამედ თანატოლებისგანაც, რომლის ენაც კარგად ესმის. სწავლება სახალისოა, რადგან მოსწავლის ინტერესებზეა მორგებული.

არაფორმალური განათლება ფორმალური განათლებისგან განსხვავებით:

- ცნობილია როგორც მოკლევადიანი ან სპეციფიკური განათლება, რომელიც ემსახურება ინდივიდების მოთხოვნილებების დაკმაყოფილებას;
- მიზნად ისახავს მიღებული ცოდნის გამოყენებას პრაქტიკაში არა მომავალში, არამედ ცოდნის მიღების დღიდან.
- მოკლევადიანია და მიზანზე ორიენტირებული.

სხვადასხვა კვლევის შედეგმა აჩვენა [1-3], რომ უმეტესი წილი, ფორმალური განათლების პარალელურად, სწორედ არაფორმალური გზით მიღებულ განათლებაზე მოდის. შესაბამისად, მოსწავლე, მასწავლებელი და მშობელი თანხმდება, რომ, მოსწავლისთვის ფორმალურ განათლებასთან ერთად, მნიშვნელოვანია არაფორმალური განათლება, რომელიც ხელს უწყობს მოსწავლეს კარიერულ წინსვლასა და ინტერესების უკეთ წარმოჩენაში.

ფორმალურ განათლებაში თუ წინასწარ არის განსაზღვრული პროგრამა, არაფორმალური განათლება მთლიანად ინდივიდის მოთხოვნებზეა აგებული და მოსწავლეს შესაძლებლობების მაქსიმალურად გამოვლენის საშუალებას აძლევს, ეხმარება კარიერის დაგეგმვაში, მნიშვნელოვანია მისი როლი პროფესიულ განათლებაში, რომელიც აუცილებელი რგოლია განათლებასა და შრომის ბაზარს შორის.

2. ძირითადი ნაწილი.

ჩვენც ვცდილობთ არაფორმალური განათლების დახმარებით მათემატიკის საგნის პოპულარიზაციას და სასწავლო პროცესის უფრო სახალისოდ წარმართვას. მოგიყვებით რამდენიმე მათგანზე:

მათემატიკის წიგნებში რომელითაც სწავლობენ მოსწავლეები დაწყებით კლასებში, არის დავალებები სადაც უნდა მოიძიონ ინფორმაცია, ამოარჩიონ მნიშვნელოვანი, მისცენ პრეზენტაციის სახე და წარუდგინონ კლასს. დასაწყისში უმეტეს მოსწავლეს უჭირს სწორი ინფორმაციის ამორჩევა, და თითქმის ყველას უჭირს წარდგენა. აღნიშნულის დასაძლევად, მოსწავლეებს გავაცანით პრეზენტაციის გაკეთების მნიშვნელოვანი დეტალები. პრეზენტაციის მომზადებისა და წარდგენის უნარების განმტკიცებისთვის გაგვიჩნდა იდეა, გაგვეკეთებინა სასკოლო კონფერენცია მათემატიკაში, სადაც მონაწილეობას მიიღებდნენ IV – VI კლასის მოსწავლეები. მოცემული თემებიდან უნდა აერჩიათ ერთ-ერთი და წარმოედგინათ ან PowerPoint - ის სახით ან ფლიპჩარტზე. თემები იყო:

- ცნობილი ქართველი მათემატიკოსები.
- რიცხვები.
- ძველი ქართული საზომი ერთეულები.
- ათვლის სიტემები.

ჟიურის წევრები იყვნენ მასწავლებლები. ყველა მონაწილეს გადაეცა სერტიფიკატი.

კონფერენციის მიზანი იყო: მოსწავლეებს განუვითარდეთ კვლევა-ძიების უნარი, პრეზენტაციის წარდგენის უნარი, წარდგენილი თემებზე ცნობადობის ამაღლება.

მოსწავლეებს ძალიან მოეწონათ კონფერენცია, ნათელი იყო რომ გაითვალისწინეს მიცემული რეკომენდაციები. ბევრად უკეთესად წარადგინეს საკუთარი ნაშრომი. მოსწავლეებთან ერთად შევთანხმდით, რომ კონფერენცია იქნებოდა მდგრადი და ყველა წელს ჩატარდებოდა

2022 წლის დეკემბერშიც ჩავატარეთ კონფერენცია შემდეგ თემებზე:

- მათემატიკა ყოველდღიურ ცხოვრებაში;
- რიცხვების წარმოშობის ისტორია;
- მათემატიკის წარმოშობის ისტორია;
- ცნობილი გამონათქვამები მათემატიკაზე.

წინა წლის მსგავსად მოსწავლეებმა ნამუშევრები წარმოადგინეს შეძლებისდაგვარად PowerPoint - ის სახით ან ფლიპჩარტზე. ამ წელს ჟიურის წევრები იყვნენ მე-11 კლასელები, რომლებმაც საბოლოოდ გამოავლინეს, მათ მიერ შედგენილი კრიტერიუმებით, ორი საუკეთესო მომხსენებელი, რომელთაც დამატებით სერტიფიკატის გარდა გადაეცათ მხატვრული ლიტერატურა.

2024 წლის მაისშიც ჩავატარეთ რიგით მესამე კონფერენცია თემებზე:

- რიცხვები და ალგებრა;
- გეომეტრია;
- საინტერესო ამოცანების განხილვა;
- მონაცემები და დიაგრამები.

მოსწავლეებმა ნამუშევრები წარმოადგინეს ისევ PowerPoint - ის სახით ან ფლიპჩარტზე. ამ წელს ჟიურის წევრები იყვნენ საბაზო სკოლის მოსწავლეები, რომლებმაც საბოლოოდ

გამოავლინეს ჟიურის რჩეული, რომელსაც დამატებით სერტიფიკატის გარდა ამჯერადაც გადაეცა მხატვრული ლიტერატურა.

მოსწავლეებმა რომლებმაც სამივე წელს მიიღეს მონაწილეობა კონფერენციაში, უკვე თამამად წარადგენდნენ პრეზენტაციას. მომავალშიც გაგრძელდება სასკოლო კონფერენცია მათემატიკაში.

ასევე სამი წელია ვატარებთ სასკოლო მათემატიკის ოლიმპიადას „მათემატიკურ ჭიდილს“, რომელიც ჩავატარებთ მათემატიკის კათედრის წევრებთან ერთად V – VI კლასებში. „მათემატიკური ჭიდილი“ ჩატარდა ორ ეტაპად, პირველი ტური ჩატარდა ინდივიდუალურად, თითოეულ მოსწავლეს დაურიგდა 12 ლოგიკური ამოცანა. მეორე ტურში გადავიდა ის მოსწავლეები, რომლებმაც დააგროვეს 50%-ზე მეტი. მეორე ტური უკვე ჯგუფური იყო, სადაც კლასების მიხედვით 4-5 მოსწავლისგან შედგენილ ჯგუფებად ჩამოყალიბდნენ. მეორე ტურში წარმოდგენილი იყო 15 ლოგიკური ამოცანა, რომელიც პროექტორით იყო წარმოდგენილი. თითოეულ ამოცანას სირთულის მიხედვით ქონდა გარკვეული დრო დათმობილი. მოსწავლეები ფურცლებზე წერდნენ პასუხებს, რომელიც გადაეცემოდა ჟიურის, რომლებიც იყვნენ მეათე კლასის მოსწავლეები. ჟიური ამოწმებდა პასუხებს, საბოლოოდ დაითვალა სწორი პასუხები და გამოვლინდა გამარჯვებული გუნდი, რომლის თოთოეული მოსწავლე დაჯილდოვდა სერტიფიკატით.

მიმდინარე სასწავლო წელს მსგავსი ოლიმპიადა ჩავატარებთ II – III კლასის მოსწავლეებისათვის. მათთვის ძალიან სახალისო და საინტერესო აღმოჩნდა.

2023 წლის იანვარში შეიქმნა მათემატიკის მოყვარულთა კლუბი „ალგორითმი“, სადაც გაწევრიანებული არიან IV, V კლასის მოსწავლეები სხვადასხვა სკოლებიდან, კლუბში გაწევრიანება ნებაყოფლობითია. კლუბისთვის შევადგინეთ სამუშაო გეგმა და წესდება. პირველ დღეს მოსწავლეებთან ერთად შევარჩიეთ კლუბის სახელწოდება, ასევე მოსწავლეებმა ჩამოწერეს მოლოდინები, რაც აქვთ ამ კლუბთან დაკავშირებით. ბოლო დღეს შეავსეს თვითშეფასების კითხვარი, სადაც აღნიშნეს, რომ შედეგმა მოლოდინს გადააჭარბა, რაც ძალიან მნიშვნელოვანი იყო ჩვენთვის.

კლუბში მეცადინეობა მიმდინარეობდა დამოუკიდებლად, წყვილებში და ჯგუფურად. კლუბური მუშაობა მოიცავდა სხვადასხვა სახის ვიქტორინებს, რაშიც თითოეული მოსწავლე დიდი ხალისით ერთვებოდა. კლუბური მუშაობის გეგმაც მოსწავლეებთან ერთად განვიხილეთ. განსაკუთრებით მოეწონათ სუდოკუ და იაპონური ხატვა. გააკეთეს მინი პროექტი „სტატისტიკა“, სადაც შეაგროვეს მონაცემები გამოკითხვის გზით, შეადგინეს ცხრილი და ააგეს სხვადასხვა სახის დიაგრამა. იმუშავეს საახალწლო კედლის გაზეთზე, გაეცნენ სხვადასხვა ცნობილი ადამიანების გამონათქვამებს, რაც საკმაოდ საინტერესო აღმოჩნდა მათთვის. გაიგეს რას გულისხმობს ოქროს კვეთა და გაეცნენ ოქროს კვეთის სხვადასხვა მაგალითს. შლილების მიხედვით ააგეს სხვადასხვა სივრცითი გეომეტრიული ფიგურები. გაიგეს 9-ზე, 11-ზე და 25-ზე მარტივად გამრავლების წესები. ასევე განიხილეს სხვადასხვა სახის მიმდევრობა და მისი გავრცობა. ამოხსნეს ამოცანები წონისა და მასის ერთეულის გადაყვანაზე. მუშაობდნენ დიდი ხალისით სხვადასხვა სახის ლოგიკურ ამოცანებზე, ერთ-ერთ მეცადინეობაზე თვითონ მოიძიეს ლოგიკური ამოცანები სხვა ბავშვებისათვის. მოეწყო გასვლითი ღონისძიება მათემატიკურ გამოფენაზე, რომელიც განსაკუთრებულად მოეწონათ.

თითოეულ მოსწავლეს ძალიან მოეწონა მათემატიკური კლუბი, ზოგიერთი მოსწავლის შეფასებას გაგაცნობთ: „კლუბის მერე უფრო მეტად შემეყვარდა მათემატიკა“, „უფრო საინტერესო ყოფილა მათემატიკა ვიდრე მეგონა“, „მარტივი ყოფილა მათემატიკა თურმე“.

კლუბური მუშაობის დრო თუ დასვენების დღეს დაემთხვეოდა გვთხოვდნენ სხვა დღეს აუცილებლად ამენაზღაურებინა. ვფიქრობ ჩვენს დასახულ მიზანს მივაღწიეთ.

მოსწავლეებისთვის რომ დაგვენახებინა თუ როგორი ლამაზი და საჭიროა მათემატიკა გადავწყვიტეთ ჩაგვეტარებინა კონკურსი „ვიმოგზაუროთ ციფრების ჯადოსნურ სამყაროში“. თითოეულ მოსწავლეს უნდა დაემზადებინა მათთვის სასურველი ერთი ციფრი, მათთვის სასურველი მასალით. კონკურსში ჩაერთო I – V კლასის მოსწავლეები. შედეგმა მოლოდინს გადააჭარბა, არაჩვეულებრივი ნამუშევრები შექმნეს. მათი ნამუშევრები გამოიფინა ერთი კვირის მანძილზე, ჟიურიმ შეარჩია საუკეთესო ნაშრომები და მათ გადაეცათ მატერიალური სერტიფიკატები, სხვა დანარჩენ მოსწავლეებს ონლაინ ფორმით. ასევე მუსიკის მასწავლებელთან ერთად ჩატარდა ღონისძიება „ციფრების სამეფო“, სადაც ციფრები ეჯიბრებოდნენ ერთმანეთს რომელი უფრო მნიშვნელოვანია და საჭიროა, საბოლოოდ შეთანხმდებიან რომ თითოეულის გარეშე გაუჭირდებათ ადამიანებს.

იმისათვის რომ გვეჩვენებინა მოსწავლეებისათვის, მათემატიკა ყველგან და ყველგანაა, ჩავატარეთ კონკურსი „შევძინოთ მეორადი სიცოცხლე ნივთებს მათემატიკის დახმარებით“. მოსწავლეებს უნდა დაემზადებინათ მეორადი ნივთებით ნაძვის ხე მათემატიკური ელემენტებით. სხვადასხვა ნომინაციებში გამარჯვებულებს გადაეცათ სერტიფიკატები. ნომინაციები შემდეგი იყო: „ყველაზე ორიგინალური“, „ყველაზე მათემატიკური“, „ჟიურის სიმპათია“, „ყველაზე მეორადი“.

3. დასკვნა.

არაფორმალური განათლება გვაძლევს საშუალებას მოსწავლეებში მოვახდინოთ საგნის პოპულარიზაცია, ვაჩვენოთ, რომ მათემატიკა ლამაზია, ყოველდღიურ ცხოვრებაში ძალიან საჭიროა, მათემატიკა ირგვლივ ყველგან და ყველგანაა, გავააზრებინოთ ცნობილი იტალიელი ასტრონომისა და ფილოსოფოსის, გალილეო გალილელის სიტყვები „ბუნება მხოლოდ მათემატიკის ენაზე გვესაუბრება“. არაფორმალური განათლება ასევე გვეხმარება ცოდნის ტრასფერში, რითაც ხვდებიან მათემატიკის შესწავლის მნიშვნელობას და აუცილებლობას.

არაფორმალური განათლება არის ფორმალური განათლების უმნიშვნელოვანესი და შემავსებელი ნაწილი. ის ეხმარება ბავშვს გაიზარდოს ნიჭიერ, ნაყოფიერ, სოციალურად ადაპტირებულ და ბედნიერ პიროვნებად. მთავარია, რომ ეს პროცესი ბავშვისთვის სიამოვნებით და სურვილით მიმდინარეობდეს.

გამოყენებული ლიტერატურა:

1. Eaton, Sarah Elaine (22 May 2011). "Formal, Non-Formal and Informal Learning". Archived from the original on 30 January 2017.
2. "Quality guide to non-formal and informal learning processes" (PDF). 2004. Archived from the original (PDF) on 14 December 2010.
3. Aruștei, Carmen Claudia; Florea, Nelu; Manolescu, Irina Teodora (2018). "Forms of learning within higher education. Blending formal, informal and non-formal". *Cross-Cultural Management Journal* (1): 7–15. ISSN 2286-0452. Retrieved 13 June 2023

The Role of Non-Formal Education in School

Marina Didmanidze¹, Kuchava Manana², Didar Didmanidze³

¹Batumi City Public School N 25

²Batumi City Public School N 3

³Akhalosoplis Public School

mari.didmanidze@gmail.com, maku57@mail.ru, ddidari1966@gmail.com

Abstract

The role of non-formal education is great in school life, it provides not only academic knowledge, but also such skills (for example, communication, teamwork, creative thinking skills, etc.), which contributes to the successful integration of a person into society and his realization. Non-formal education contributes to improving outcomes in formal educational institutions (kindergarten, school, vocational school). It is a continuation of formal education that helps develop literacy, digital skills, life skills, and socio-cultural skills in students. By mastering these skills, the student prepares for independent living and becomes self-confident.

Keywords: Non-formal education, school life, creative thinking skills.

ქართული მიწების ძალადობრივი მიერთების სომხური გეგმები დაშნაკური ხელისუფლების პირობებში

თამაზ ფუტკარაძე, ნანი ფუტკარაძე

ბათუმის შოთა რუსთაველის სახელწიფო უნივერსიტეტი

tamaz.putkaradze@bsu.edu.ge, futko.bsu4@gmail.com

რეზიუმე

1917 წლის თებერვლის ბურჟუაზიულ-დემოკრატიული რევოლუციის შემდეგ, რუსეთის იმპერია დაიშალა. კავკასიის სამი რესპუბლიკა გაერთიანდა ერთიან ამიერკავკასიის ფედერაციულ-დემოკრატიულ რესპუბლიკაში. მაგრამ მისი არსებობა ხანმოკლე აღმოჩნდა. მალე ფედერაციული რესპუბლიკა დაინგრა, და მის ნანგრევებზე თითქმის ერთდროულად სამი სახელმ აღმოცნდა. დამოუკიდებელი სახელმწიფოების გაჩენისთანავე გაჩნდა საზღვრების გამიჯვნის აუცილებლობა, მაგრამ დაშნაკური მთავრობის უსაფუძვლო ტერიტორიულმა პრეტენზიებმა და ქართული მიწების ძალადობრივი ანექსიის მცდელობამ გამოიწვია კონფლიქტი, რომელიც ისტორიაში **სომხეთ-საქართველოს ომის** სახელითაა ცნობილი.

ამ ნაშრომის მიზანია, ისტორიულ წყაროებზე, სამეცნიერო ლიტერატურულ მონაცემებზე დაყრდნობით, ასევე ამ თემაზე გამოქვეყნებული სომეხი ავტორების ნაშრომების ტენდენციური ხასიათისა და ისტორიის დამახინჯებული პრიზმით წარმოჩენის მცდელობის ჩვენება, **სომხეთის მთავრობის ტერიტორიული პრეტენზიების უსაფუძვლობის ჩვენება**.

კვლევის მეთოდოლოგიურ საფუძველს წარმოადგენს ობიექტურობის, ყოვლისმომცველობისა და სისტემატურობის საყოველთაო სამეცნიერო პრინციპები, ისტორიულ-შედარებითი და ისტორიულ-ტიპოლოგიური მეთოდები.

საკვანძო სიტყვები: სომხეთ-საქართველოს ომი, ტერიტორიული პრეტენზიები, დაშნაკური მთავრობა, ამიერკავკასიის ფედერაცია

1. შესავალი.

1917 წლის თებერვლის ბურჟუაზიულ-დემოკრატიული რევოლუციის შემდეგ რუსეთის იმპერია დაიშალა. კავკასიის სამი რესპუბლიკა გაერთიანდა ერთიან ამიერკავკასიის ფედერაციულ-დემოკრატიულ რესპუბლიკაში, მაგრამ ხანმოკლე აღმოჩნდა მისი არსებობა. ფედერაციული რესპუბლიკის ნანგრევებზე, თითქმის ერთდროულად წარმოიშვა სამი სახელმწიფო.

იმ პერიოდში რუსეთი სერიოზული პრობლემების წინაშე იდგა, რითაც დაუყოვნებლივ ისარგებლა ოტომანთა სახელმწიფომ და აქტიურად დაიწყო ბრძოლა კავკასიაში თავისი გეოპოლიტიკური ინტერესების გატარებისათვის. 1918 წ. 4 ივნისს, ოსმალეთმა აიძულა სომხეთ-საქართველო ხელი მოეწერათ ბათუმის კაბალური ხელშეკრულებისათვის. ამ დოკუმენტით სომხეთს უნდა ჩამოჰყოფოდა ერევნის, ეჩმიადინის და ახალი ბაიაზეთის ტერიტორიები, ხოლო საქართველოს კი ბათუმის ოლქი, ოლთისის და არტაანის ოკრუგი, ახალქალაქისა და ახალციხის მაზრების დიდი ნაწილი და უნარჩუნდებოდა მხოლოდ თბილისისა და ქუთაისის გუბერნიები.

თურქებს მადა თანდათან ემატებოდათ. მათ თითქოსდა „დროებით“, ლორეს მონაკვეთის გადაცემაც მოითხოვეს. საქართველო იძულებული გახდა თურქთა ეს მოთხოვნები დაეკმაყოფილებინა. შესაბამისად, 1918 წ. ნოემბერ-დეკემბრამდე სომხეთის ტერიტორიასთან საქართველოს პირდაპირი შეხება არ ჰქონია (ენდრიუ ანდერსენი და გეორგ ეგგე, ნაწ. 1)

1918 წლის 30 ოქტომბერს თურქეთმა პირველ მსოფლიო ომში კაპიტულაცია გამოაცხადა. მუდორის ზავით თურქები უნდა დაბრუნებულიყვნენ რუსეთ-თურქეთის საზღვრის პირველ მსოფლიო ომამდე არსებულ პოზიციებამდე. შეთანხმების მიუხედავად, ოსმალებმა ლორეს უბნის სამხრეთი ნაწილი გადასცეს არა ქართველებს, არამედ სომხებს.

თურქების გასვლით ისარგებლეს სომხებმა და 18 ოქტომბრიდან დაიწყეს საუკუნოვანი ოცნების - „დიდი სომხეთის“ გეგმის რეალიზაციისათვის ბრძოლა. სომხები შეიჭრნენ საქართველოს ისტორიულ რეგიონში და დაიკავეს გერმანულ-ქართული სასაზღვრო შენაერთის მიერ კონტროლირებადი ქობერის გასაყარი (ენდრიუ ანდერსენი და გეორგ ეგგე, მეორე ნაწილი, <https://www.google.com/search?> ნანახია 19 აგვისტო, 2021). ქობერის სადგური მხოლოდ მას შემდეგ იქნა დატოვებული, როცა ქართულმა სარდლობამ კონფლიქტის ზონაში გააგზავნა 250 კაციანი რაზმი და ორი ჯავშანმატარებელი. ამის შემდეგ სომხები იკავებენ სასაზღვრო ხაზის სამხრეთით მდებარე სადგურ შაგალს.

საქართველომ სომხეთს წაუყენა ულტიმატუმი შაგალის დატოვების შესახებ, მაგრამ უშედეგოდ. სომხეთის უარყოფითი რეაქცია გამოიხატა პრემიერ კაჩაზუნის ნ. ჟორდანასადმი გაგზავნილ შიფროგრამაში (ენდრიუ ანდერსენი და გეორგ ეგგე, მეორე ნაწილი, <https://www.google.com/search?> ნანახია 19 აგვისტო, 2021). საქართველო იძულებული გახდა ბორჩალოში გამოეცხადებინა საგანგებო მდგომარეობა. მაზრის უფროსად დაინიშნა გენერალი წულუკიძე. საბრძოლო მოქმედებებში ჩაერთო ჯავშანმატარებელი. სომხებმა უკან დაიხიეს და აღნიშნული სოფლების დაპყრობა გაუგებრობად გამოაცხადეს (ენდრიუ ანდერსენი და გეორგ ეგგე, <https://www.google.com/search?q>).

ოქტომბრის ბრძოლები შეწყდა, მაგრამ მთელი სიმწვავეთ დადგა სომხეთ-საქართველოს საზღვრების გამიჯნვის აუცილებლობის საკითხი. სომეხი ნაციონალისტების აზრით ახალქალაქის მაზრა და ბორჩალოს მაზრის ძირითადი ნაწილი უნდა შესულიყო სომხეთის შემადგენლობაში. რადიკალები უფრო შორს წავიდნენ და შავ ზღვაზე გასასვლელის მოპოვება ბათუმის ხარჯზე მოიწადინეს. გარდა ამისა, სომხურმა მხარემ მოითხოვა საზღვრის გავლება გორის მაზრის ცხრაწყაროს უღელტეხილზე (Armeno-Georgian War of 1918, http://www.conflicts.rem33.com/images/Georgia/arm_geor_war/E3.html).

საქართველოს მთავრობა საზღვრების გამიჯნვისას ეფუძნებოდა ისტორიულ პრინციპებს, რომლის მიხედვითაც ახალციხე, ახალქალაქი, ლორესა და ბორჩალოს მაზრები იყო საქართველოს ისტორიული ტერიტორია და განუყოფელი ნაწილი. სომხები ამოსავლად იღებდნენ რეალური მოსახლეობის პრინციპს და კანონიერად მიიჩნევდნენ ამ ტერიტორიების სომხებისადმი კუთვნილებას. ამ პრინციპს ხელისუფლებაში მოსვლამდე ადრე ემხრობოდნენ დამოუკიდებელი საქართველოს პოლიტიკოსთა ერთი ნაწილი (მჭედლიშვილი, 2004:106).

1917 წლის 21 ივნისის გაზეთ „ბრძოლაში“ გამოიხატა სოციალ-დემოკრატების პოზიცია - საზღვრები დგინდება რეალური მოსახლეობის პრინციპის საფუძველზე სამეურნეო-ყოფითი თავისებურებების გათვალისწინებით და რეფერენდუმის ჩატარების გზით (გაზ. ბრძოლა, N. 39, 1917 წ. 21 ივნისი). სწორედ საქართველოს მმართველი ელიტის აღნიშნული პოზიცია დაიხვიეს ხელზე „დიდი სომხეთის“ შექმნის მანიით შეპყრობილებმა დაშნაკებმა და სცადეს სხვისი ტერიტორიების მითვისება ქართველებისავე მხარდაჭერილი რეალური მოსახლეობის პრინციპის საფუძველზე (გაბაშვილი, 1959:103).

საქართველოს დამოუკიდებლობის გამოცხადების შემდეგ ხელისუფლება კოსმოპოლიტი მენშევიკების ხელში მოექცა, მაგრამ უკვე შეუძლებელი იყო ტერიტორიული მთლიანობის დაცვის საქმეში კომპრომისებზე წასვლა. მათ „დაივიწყეს“ ადრინდელი დანაპირები და

ტერიტორიული დავების გადაწყვეტისას ისტორიული კუთვნილების პოზიციებს მიაწიქეს უპირატესობა.

ზოგადად, საქართველოს პოლიტიკურ წრეებში ამ საკითხთან დაკავშირებით იყო სხვა პოზიციებიც. ზოგიერთებს შესაძლებლად მიაჩნდათ ლორეს გადაცემა სომხებისათვის იმ შემთხვევაში, თუ კი ამით წერტილი დაესმებოდა სომეხთა ტერიტორიულ პრეტენზიებს (ჩაჩხიანი, 2006).

1919 წელს, სომეხთა ეროვნულმა საბჭომ ბაქოში დასტამბა 38 გვერდიანი ბროშურა - „სომხეთ-საქართველოს შეიარაღებული კონფლიქტი ფაქტობრივი მონაცემებისა და ნამდვილი დოკუმენტების საფუძველზე“ (რუსულ ენაზე). ეს ბროშურა დაცულია სომხეთის ხელნაწერთა ეროვნულ ცენტრში - მატენადარანში ნომრით 1660. ნაშრომში ავტორები უგულვებელყოფენ ისტორიზმის პრინციპებს, მრუდე სარკეში წარმოაჩენენ რეალურ ვითარებას და ცდილობენ მთელი პასუხისმგებლობა დააკისრონ საქართველოს ხელისუფლებას. ავტორები რატომღაც არაფერს ამბობენ იმის შესახებ, თუ როგორ გაჩნდა ძირძველ ქართულ ტერიტორიებზე სომხური მოსახლეობა.

სომხების გაანგარიშებით საქართველოს მოსახლეობაში ქართველების რაოდენობა შეადგენდა 64 პროცენტს, სადაო ოლქებში კი ქართველები არ ცხოვრობდნენ. მათივე მსჯელობით, მთლიანად კავკასიის მოსახლეობაში ქართველები შეადგენენ 28 პროცენტს, ქართული პროექტის განხორციელების შემთხვევაში კი უსამართლოდ მიიღებდნენ ტერიტორიის 42 პროცენტს (სომხეთ - საქართველოს შეიარაღებული კონფლიქტი, 1919:3,4).

როგორც ვხედავთ, ამ შემთხვევაში სომხები სრულად უგულვებელყოფდნენ ისტორიულ პრინციპს, მაშინ როცა „დიდი სომხეთის“ ამბიციურ პროექტში ძირითად აქცენტს სწორედ ისტორიულ საფუძვლებზე ამახვილებდნენ და მთელ კავკასიას ურარტუდ (რომელიც სულაც არ იყო წმინდა სომხური სახელმწიფო), სომხებს კი ურარტუს კულტურის ერთადერთ მემკვიდრეებად მოიაზრებდნენ.

1918 წ. 4-5 დეკემბერს თურქების მიერ დატოვებულ ლორეში, ახალციხისა და ახალქალაქის მაზრებში ქართული ჯარები დაბრუნდნენ. სომხებმა გააპროტესტეს ქართული ჯარის ყოფნა და დაიწყეს მზადება ამ ტერიტორიების ძალისმიერი გზით დაკავებისათვის (ჩაჩხიანი, 2006:122).

სამწუხაროდ, მაშინ ნ. ჟორდანიას თავი არ შეუწყუხებია ამ ინფორმაციაზე რეაგირებისა და რეგულარული ჯარის შექმნისათვის. მას ემინოდა, რომ ჯარი არ დაპირისპირებოდა ხელისუფლებას (მაზნიაშვილი, 1927:5-10,119). საქართველომ მაშინვე არ გამოაცხადა მობილიზაცია, არ გაუგზავნია არცერთი შენაერთი ფრონტზე, უფრო მეტიც, ფრონტიდან გამოიწვია 150-მდე მეომარი დღესასწაულში?! მონაწილეობის მისაღებად (მაზნიაშვილი, 1927:5-10; კვინიტაძე, 1998:119). საფრთხე კარზე იყო მომდგარი და კოსმოპოლიტი მთავრობის თავმჯდომარე კი დღესასწაულს მართავდა.

სომხებმა არაფრად ჩააგდეს საქართველოს ნეიტრალიტეტი და 9 დეკემბერს, გენერალ დროს (დრასტამატ კანანიანი) სარდლობით სანაიანში თავს დაესხნენ დეზორგანიზებულ, ნამძინარევ ქართველ მესაზღვრეებს და საქართველოს მთავრობას წაუყენეს ულტიმატუმი „სომხეთის კუთვნილი“ ახალქალაქისა და ბორჩალოს მაზრების ტერიტორიიდან ქართული ჯარების გაყვანის შესახებ.

მზაკვრული ჩააფიქრების რეალიზაციისა და საკუთარი ავანტიურის გამართლებისათვის ლორეს რეგიონში სომხებმა მოაწყეს ამბოხება, რომელიც თითქოსდა ქართველთა ძალადობამ განაპირობა. მდგომარეობის გასარკვევად ქართულმა მხარემ გააგზავნა დელეგაცია. ნათელი

გახდა, რომ თავდამსხმელები იყვნენ სომეხი ჯარისკაცები ოფიცრების ხელმძღვანელობით. ქართულ მხარეს ხელთ ჩაუვარდა დეპეშა, რომელშიც ითხოვენ ინფორმაციას - გამოუცხადეს თუ არა ომი საქართველოს, რომ ისინი მზად არიან ომისათვის (გაზეთი “ერთობა“, N270, 1918 წ. 14 დეკემბერი).

სომეხი ხელისუფლების მიერ ორგანიზებულმა ამბოხებამ დაბადა ეჭვები, რომ ლორეს სოფლებში, საკუთრივ უზუნლარში ინახებოდა იარაღი. საქართველოს ხელისუფლებამ ჩაატარა ჩხრეკა და ამოიღო იარაღი, რაც სომხების მიერ შეფასდა, როგორც დამსჯელი ექსპედიცია (სომხეთ-საქართველოს შეიარაღებული კონფლიქტი, 1919:20)

მოწინააღმდეგემ შეძლო უზუნლარის, სანაიანის, აირუმისა და ახტალას დაკავება, შეტევა დაიწყო ვორონცოვკის მიმართულებით და საგარეო საქმეთა მინისტრის ტიგრანიანის ხელმოწერით თბილისში გაიგზავნა მუქარისშემცველი ნოტა აღნიშნული რეგიონებიდან ქართული ჯარების გაყვანის მოთხოვნით. 18-19 დეკემბერს სომხებმა სრულად დაიკავეს ლორეს რეგიონი, დაარბიეს ქართულ-აზერბაიჯანული სოფლები (გვანცა ფორჩხიძე, სომხეთ-საქართველოს ომი <https://konpliqtebi2017.wordpress.com/2017/11/16/%>). 32 ქართველი ახალ-გაზრდის სიცოცხლე შეეწირა ამ შეტაკებას. 32-ვე კუკიის სასაფლაოზე დაასაფლავეს. მათგან ყველაზე უფროსი 25 წლის იყო. 32 საფლავიდან დღეისათვის შემორჩენილია ერთი - **მიხეილ დარბაისელის** საფლავი ეპითაპიით: „მას დედის ძუძუ ტკბილი, შხამადაც შერგებია, მამულისთვის სიკვდილი, ვისაც დაზარებია. შემდეგ ამოშლილია სიტყვა (სავარაუდოდ „სომხებთან“), შემდეგ კი წერია: ბრძოლის დროს დაღუპული მიხეილ ივანეს ძე დარბაისელ-დავითაშვილი, 1896-1918 წ. 19 დეკემბერი“ (დოკუმენტური ფილმი-სომხეთ საქართველოს ომი, <https://www.youtube.com/watch?v=F0j-GXfCSQo>).

21 დეკემბერს სომხების ხელში გადავიდა შულავერი, შემდეგ კი სადახლო საბრძოლო ოპერაციებში სომხეთის სასარგებლოდ თბილისელი და საქართველოს სხვა რეგიონებში მცხოვრები სომეხი მოხალისეებიც მონაწილეობდნენ. საქართველო იძულებული იყო გაეტარებინა რეპრესიული ღონისძიებები. რამიშვილმა ჩაატარა ჩხრეკა და სომხურ ოჯახებში (სარდაფებში) აღმოჩნდა ინგლისური წარმოების უამრავი იარაღი - შაშხანები და ტყვია-წამალი (დოკუმენტური ფილმი-სომხეთ საქართველოს ომი, <https://www.youtube.com/watch?v=F0j-GXfCSQo>). მთავრობის განკარგულებით სომხებთან თანამშრომლობაში ეჭვმიტანილების ქონება სრულად ან ნაწილობრივ იქნა კონფისკირებული. დამნაშავენი დადგნენ არჩევანის წინაშე: ან ციხე, ან საქართველოს დატოვება. ბევრი დააპატიმრეს, დანარჩენმა დამნაშავეებმა კი დატოვეს საქართველო. ხელისუფლებამ დაიწყო საეჭვო პირების დეპორტაცია დედაქალაქიდან. დაიხურა სომხური გაზეთები, რომლებიც საქართველოში მცხოვრებ სომხებს ქართველების წინააღმდეგ ბრძოლისაკენ მოუწოდებდნენ.

საქართველოში დაიწყო მოხალისეთა ჯგუფების ფორმირება. მოხალისეთა ბრიგადა შეიქმნა უნივერსიტეტშიც (მასში ჩაეწერა იმჟამინდელი სტუდენტი, მომავალში რექტორი ნიკო კეცხოველი). საქართველოს მოსახლეობამ პირველად შეიგრძნო, რომ აქვთ სახელმწიფო, რომელიც მათვე უნდა დაიცვან. ეს იყო დიდი გამარჯვება დემოკრატიული საქართველოს არსებობის ისტორიაში.

ქართულმა სარდლობამ შეძლო ძალების ორგანიზება, განახორციელა წარმატებული შეტევა და რომ არა ბრიტანელების მოთხოვნა, სომხებს ერევნის დატოვებაც მოუწევდათ. ომის იძულებითი შეწყვეტის მიუხედავად ქართული სარდლობა ძლივს ახერხებდა ქართველი ჯარისკაცების შეკავებას (სცსა, ფ.1864, ს. 1, ფურც. 50-62).

სომხურმა მხარემ ბრიტანეთის მოთხოვნით საბრძოლო ოპერაციების შეწყვეტა საკუთარ წარმატებად მიითვალა, თუმცა ეს რომ ასე არაა, თავადაც კარგად იცნან. რომ არა ბრიტანეთის მოთხოვნა, სომხეთი ვერ აცდებოდა სრულ დამარცხებას.

საკუთარი წარმატებების ფონზე სომხური მხარე ყოველთვის არიდებდა თავს კონსტრუქციულ მოლაპარაკებებს, ყოველნაირად ცდილობდა ჩაეშალა სამშვიდობო პროცესები თავისი არარეალური მოთხოვნებით. სპეციალისტთა შეფასებით, გამარჯვების შემთხვევაში ისინი გაცილებით უფრო საშიშნი იქნებოდნენ, ვიდრე გამარჯვებული ალა მაჰმად ხანი (ფ. ჟიჟიაშვილი, გაზეთი „დრონი“ 1993, N 34). სომხები სადაოდაც კი არ თვლიდნენ ახალქალაქისა და ბორჩალოს მაზრების კუთვნილების საკითხს, მაგრამ მას შემდეგ, რაც განიცადეს სამხედრო მარცხი, 1919 წლის იანვარში იძულებული გახდნენ მიეღოთ ბრიტანელებისა და ფრანგების მიერ შემუშავებული შეთანხმების პირობები.

უნდა ითქვას, რომ ინგლისელების პირველი პროექტი ითვალისწინებდა მთელი სადაო ტერიტორიების (ბორჩალო, ახალქალაქი, ლორე) ნეიტრალურ ზონად გამოცხადებას, მაგრამ ქართული მხარის კატეგორიული წინააღმდეგობის შემდეგ შემუშავდა ახალი პროექტი, რომელიც 1918 წ. 9-17 იანვრის თბილისის კონფერენციაზე იქნა მიღებული. ამ პირობებით საქართველო რჩებოდა მის მიერ დაკავებულ ტერიტორიებზე, სომხები კი ომამდელ საზღვრებზე უნდა დაბრუნებულიყვნენ. ქართული ჯარების წარმატებების ფონზე სომხეთი იძულებული გახდა დათანხმებულიყო ინგლისელების წინადადებას. ამ ზავით ლორეს რეგიონი გამოაცხადეს ნეიტრალურ ზონად, რომელშიც საკითხის საბოლოო გადაწყვეტამდე მორიგეობით უნდა მდგარიყო ქართული და სომხური ჯარის ნაწილები. ნეიტრალური ზონის მართვის სადავეები ექცეოდა კომისარიატის ხელში საქართველოსა და სომხეთის თითო წარმომადგენლის მონაწილეობით და მოკავშირე ბრიტანულ-ფრანგული მისიის მეთვალყურეობით.

აღნიშნულ საზავო პირობებზე სომხების თანხმობა ენდრიუ ანდერსენის და გეორგ ეგგეს მოსაზრებით განპირობებული იყო ერთის მხრივ ქართველების სამხედრო წარმატებებით, მეორეს მხრივ კი სომხეთის მთავრობასა და დენიკინის არმიას შორის საიდუმლო შეთანხმებით. ავტორი იმოწმებს დენიკინის ცნობას, რომლისთვისაც უცნობებია გენერალ უორკერს სომხეთის მთავრობასა და დენიკინის მოხალისეთა არმიის ხელმძღვანელობას შორის არსებული საიდუმლო შეთანხმება - ერთობლივი დარტყმა განუხორციელებინათ საქართველოზე. მაშინ ინგლისელებმა საქართველოს მხარე დაიჭირეს და შეუძლებელი გახდა აღნიშნული ავანტიურის განხორციელება. ენდრიუ ანდერსონის ინფორმაციით დენიკინმა უარყო ასეთი შეთანხმების არსებობა, თუმცა სამართლიანად ფიქრობს, რომ დენიკინელთა არმიას და სომხეთს ჰქონდათ საერთო ინტერესები და მათი მოქმედება ასეთი საიდუმლო გარიგების არსებობაზე უნდა მეტყველებდეს (ენდრიუ ანდერსენი და გეორგ ეგგე, 1918 წ. სომხეთ-საქართველოს ომი, III. <http://arma.ge/2019/11/07/2203/>).

სომხეთი იძულებული გახდა ახალქალაქის მაზრაზე მოეხსნა თავისი პრეტენზიები. საზღვრების საკითხის განხილვა - ქართველი მენშევიკების „სატყუარა“ (ჩაჩხიანი, 2006:208) პარიზის კონფერენციას მიენდო, რომელსაც უნდა გადაეწყვიტა ომისშემდგომი მსოფლიოს ბედის საკითხები. საქართველოს დელეგაციამ კარლო ჩხეიძის, კაკი წერეთელის, ზურაბ ავალიშვილის და სხვათა მონაწილეობით წარადგინა მოხსენება, რომელშიც დასაბუთებული იყო საქართველოს დამოუკიდებლობის კანონზომიერება. საქართველომ წარადგინა აგრეთვე მომავალი საქართველოს რუკა, რომელშიც უნდა შესულიყო სადავო ტერიტორიები, მაგრამ დასავლეთი საქართველოს პრობლემებს რუსეთის შინაურ საქმედ აღიქვამდა.

პარიზის კონფერენციაზე სომხურმა დელაგაციამ წარადგინა ე.წ. „დიდი სომხეთის რუკა“, რომელშიც შედიოდა საქართველოს მტკვრის მარცხენა სანაპირო თბილისისა და გორის ჩათვლით. მათ მოითხოვეს აგრეთვე შავ ზღვაზე გასასვლელი. კავკასიის რესპუბლიკებს შორის არსებული წინააღმდეგობებით ისარგებლეს დასავლეთის მმართველმა წრეებმა და სამივე რესპუბლიკას უარი უთხრეს მფარველობის მანდატზე. ნაწილობრივ ამავე მიზეზით ეთქვა უარი საქართველოს ერთა ლიგის (შეიქმნა 1920 წელს) წევრობაზეც.

სხვათა შორის, სომხების მიერ შავ ზღვაზე გასასვლელის მოპოვების დაუოკებელმა სწრაფვამ დასავლეთის მმართველ წრეებში მე-20 ს. პირველ მეოთხედში გარკვეული მხარდაჭერა ჰპოვა. ეს აისახა სევრის ხელშეკრულებაში (1920 წელი). აშშ-ს იმჟამინდელი პრეზიდენტის ვილსონისეული სომხეთი სხვა არაფერი იყო, თუ არა „დიდი სომხეთის“ შექმნის არარეალური გეგმა, რომელიც თავის საზღვრებში გულისხმობდა საქართველოს ტერიტორიის მნიშვნელოვან ნაწილსაც.

სევრის ხელშეკრულებით მხარდაჭერილი ვილსონის სომხეთი თავის თავში აერთიანებდა ტრაპიზონის პროვინციასაც (КАРПОВ С. П. 1981:168, 169), რომლის მიხედვითაც იქედან უნდა გაესახლებინათ მკვიდრი ლაზური მოსახლეობა. ლაზისტანი მათი წარმოდგენით უნდა გადაქცეულიყო დიდი სომხეთისათვის დერეფნად შავ ზღვაზე გასასვლელისათვის. არავის უკითხავს ლაზებისათვის, მისაღები იყო თუ არა ეს წინადადება. თავად სომხები კი დასავლურ სამყაროს უმტკიცებდნენ, რომ იქ ცხოვრობენ ველური ხალხი, რომლებიც ვალდებული არიან ცივილიზებულ სომხეთს დაუთმონ საკუთარი მიწები (Лазы: Севрский договор как смертный приговор для народа, Московский и Карский договора – как спасение. KavkazPlus).

აღნიშნული გეგმის რეალიზაცია გულისხმობდა საქართველოსათვის სამცხე-ჯავახეთისა და ბათუმის პორტის დაკარგვასაც, რასაც სავარაუდოდ ადგილობრივი არასომეხი, განსაკუთრებით კი მუსულმანური აღმსარებლობის მოსახლეობის აყრა-გადასახლება ან გენოციდი მოყვებოდა შედეგად. ამერიკის, საფრანგეთის, ინგლისის მმართველი წრეების მიერ მხარდაჭერილი სევრის ხელშეკრულება ფაქტობრივად იყო ლაზებისა და სრულიად საქართველოსათვის სასიკვდილო განაჩენი.

სომეხმა ნაციონალისტებმა ისარგებლეს პირველი მსოფლიო ომის დაწყებით და ნამდვილი გენოციდი მოუწყეს მუსულმანურ (ქურთები, თურქები) მოსახლეობას, მათ შორის ლაზებს და აჭარლებს, იმერხეველებს, შავშებს. არსებობდა ლაზებისა და აჭარლების წინააღმდეგ სომხების მიერ ჩადენილი მხეცობების ამსახველი დოკუმენტები, რომლებიც განადგურდა საბჭოთა ხელისუფლების მიერ, თუმცა ალექსი ტოლსტოის ამის შესახებ აქვს მინიშნებები და ირიბი მტკიცებულებანი. საბჭოთა პერიოდში დაწერილ ერთ-ერთ ნაწარმოებში იგი იხსენებს გენერალ იუდენიჩს, რომელმაც სომხების მონაწილეობით გაანადგურა რამდენიმე აჭარული სოფელი (Лазы: Севрский договор как смертный приговор для народа, Московский и Карский договора – как спасение. KavkazPlus). სომხების სისასტიკეზე საუბრობს ნ. ნოვიკოვი თავის წიგნში „Операции на Черном море и совместные действия армии и флота на побережье Лазистана“, უფრო კონკრეტულად კი წიგნის ქვეთავში „ტრაპიზონის დაცემა“ (ლენინგრადი, 1927).

ლაზები სრულ განადგურებას სომეხთა სულწასულობამ გადაარჩინა. სომეხი ბოვეიკები არ დაელოდნენ ამერიკისა და დასავლეთის ქვეყნების ჯარის შემოსვლას. დაშნაკებმა თავიანთი ბანდები დაძრეს „ვილსონისეული სომხეთის“ გეგმის განსახორციელებლად (ლ. სარალიძე, სომხეთ-საქართველოს ხელშეკრულება 1919 წელ). შავ ზღვაზე გასასვლელის მოპოვებისათვის ხან საზღვრის მდ. ჭოროხზე გატარების მოთხოვნით გამოდიოდნენ

(ხატისიანის პროექტი, სომხეთის ცსა, საქმე 12, ან. 2ს., ფურც.13,14, 15), ხან კიდევ ბათუმის ნავსადგურის ნაწილის მისაკუთრებას ცდილობდნენ (სცსა, ფ. 1969, აღწ. 4, საქ. 12).

ამ პრეტენზიების ფონზე საქართველოსთან შეთანხმება შეუძლებელი აღმოჩნდა. მაგრამ ფუჭი აღმოჩნდა სომხების დასავლეთზე მოიმედებაც. 1920 წ. ნოემბერში ოსმალების მიერ განხორციელებული აგრესიის დროს სომხეთი მარტო აღმოჩნდა მტრის პირისპირ. დამარცხებულმა სომხებმა იკადრეს ეთხოვათ ქართველებისათვის დაეკავებინათ ლორე, რათა დაშნაკებს იქ შეეფარებინათ თავი. სანაცვლოდ, კი სამი თვის შემდეგ სომხებმა ლორესა და შულავერში მოაწყეს აჯანყება და გზა გაუხსნეს საბჭოთა ოკუპაციას.

ამრიგად სომეხთა ავანტიურას არ მოუტანია არავითარი შედეგი თავად სომეხთათვის. კომპრომისების გამონახვის სურვილის არქონამ სავალალო შედეგის წინაშე დააყენა სომხეთის ხელისუფლება. მათ ვერ შეძლეს ახალი ტერიტორიების მიერთების ხარჯზე სომხეთის ტერიტორიული საზღვრების გაფართოება. ადრე ოსმალების მიერ დაკავებული ახალქალაქის მაზრა ქვემო ქართლთან ერთად საქართველოს საკუთრებაში დარჩა. მათი სურველები არარეალურად მიიჩნიეს თავად პროსომხური განწყობის ბრიტანული მისიის წარმომადგენლებმაც. მართალია ბრიტანელები გერმანიის მოკავშირე საქართველოს მიმართ ავლენდნენ კრიტიკულ დამოკიდებულებას, მაგრამ ქართულმა დიპლომატიამ თანდათანობით შეძლო მათი კეთილგანწყობის მოპოვება, რომლებმაც მოგვიანებით ორივე მხარის მიმართ ნეიტრალური დამოკიდებულება გამოავლინეს.

დღეისათვის საქართველოსა და სომხეთის ურთიერთობები წარმატებით ვითარდება, თუმცა შეინიშნება გარკვეული დამახულობის ელემენტები. სამწუხაროდ სომხურ პრესაში კვლავაც იბეჭდება ანტიქართული პუბლიკაციები, გამოიცემა ისტორიული სინამდვილის მრუდე პრიზმაში წარმომჩენი „მეცნიერული“ ნაშრომები. ოთხმოცდაათიან წლების სომხეთის ისტორიის სახელმძღვანელოებით ისწავლებოდა, რომ 1918 წელს ქათველებმა მოახდინეს სომხური მიწების ოკუპაცია, დღევანდელი სახელმძღვანელოებით კი პირიქით - 1918 წ. „ძლევამოსილმა სომხურმა არმიამ“ დაამარცხა „ვერაგი მტერი“. შესაბამისად, ყოველი წლის დეკემბრის ბოლოს დამარცხებულები აღნიშნავენ ე.წ. „გამარჯვების წლისთავს (ისტორია ერთადერთ „პოლიტიკას“ აღიარებს, <https://www.kvirispalitra.ge/history/5447-saqarthvelo-somkhethis-omi.html>). იგივე პოზიციას გამოხატული 1990 წელს ერევანში 30000-ნი ტირაჟით გამოცემულ ჰ. გოგორქიანის ნაშრომში (იხ. ალ. აბდალაძე, მეტი ობიექტურობა, ჟურნ. „მნათობი“, 1998, N 3-4, გვ. 176). საქართველო კი „კვლავ არ ვაწყენინოთ“ პოლიტიკას აგრძელებს.

გარკვეული წინააღმდეგობები ჩვენს ურთიერთობებში სხვა მიზეზებითაც არის განპირობებული. არ ცხრება სომხური მხარის პრეტენზიები კულტურული მემკვიდრეობის ძეგლების კუთვნილების საკითხებზე. ამავე დროს, ჯავახეთი, რომელიც დაშნაკების სამოქმედო პროგრამაში მთავარ პრიორიტეტად არის მიჩნეული (ჩაჩხიანი, 2006), კვლავაც ასრულებს შენელებული ბომბის ფუნქციას, რომელიც ჯერ კიდევ არ არის განეიტრალებული. მათ ჰყოფნით თავხედობა გვისაყვედურონ იმის შესახებ, რომ ყარაბაღის კონფლიქტში საქართველომ დაიკავა ნეიტრალური პოზიცია, და ეს მაშინ, როცა სომხებმა წარმოუდგენელი ღალატი ჩაიდინეს 1990-იან წლებში აფხაზეთის კონფლიქტში - ქართველების წინააღმდეგ მათი აქტიური მონაწილეობით. სერგეი ზაბელიანის ინიციატივით და „კრუნკის“ ლიდერის ალბერტ ტოპოლიანის მეთაურობით ჩამოყალიბებული სომხური ე.წ. ბაგრამიანის ბატალიონი (სომხ. Բաղրամյան) გაუგონარი სისასტიკით გამოირჩეოდა. ქართველების წინააღმდეგ ბრძოლაში აქტიური მონაწილეობისათვის 11 სომეხს (კ. გურგენიანი, გ. ტრაპიზონიანი, ა. ისხანიანი, ს. კირაკოზიანი, ა. ასატურიანი და სხვებს) მიენიჭა აფხაზეთის გმირის წოდება, ხუთი დაჯილდოვდა ლეონის ორდენით, ათი კი მედლით „მამაცობისათვის“ (დავით

ლაცუზბაია, ვახტანგ ყოლბაია, რაფიელ გელანტია, თეიმურაზ ჭახრაკია. აფხაზეთის ლაბირინთი, – თბილისი, „არხატი“, 1999, ასევე, ბაგრამიანის ბატალიონი, https://ka.wikipedia.org/wiki/ბაგრამიანის_ბატალიონი). სომეხთა ასეთი დამოკიდებულებანი შეიცავს გარკვეული საფრთხის ნიშნებს, რომელსაც დროული რეაგირება სჭირდება.

ჩვენს წინაპრებს ყოველთვის ჰქონდათ მეგობრული ურთიერთობა სომეხებთან. სწორედ ამან ათქმევინა სომხური მწერლობის კლასიკოსს ოვანეს თუმანიანს: „თუ სამშობლოს მტერი მოადგება, ცოლ-შვილს მხოლოდ საქართველოში გავხიზნავო“ (ფუტკარაძე, 1998:20). იგი ღირსეულად მოიქცა ძმთამკვლელი ომის დროს და ერევანში ჩარჩენილ შვილებს დაემუქრა, რომ ქართველების წინააღმდეგ ბრძოლის შემთხვევაში მათზე უარს იტყოდა (ალესილი ხმლები. <https://ar-ar.facebook.com/SAQARTVELO.ERTADERTIA.01/posts/155722912947203/>; კ. გრიგორიანი, 1950:234, ასევე, ო. თუმანიანი, 1951:28).

ქართულ-სომხური ურთიერთობების საკითხის შესახებ საუბრისას წინა პლანზე უნდა წამოვწიოთ სწორედ ასეთი მაგალითები, რომლებიც მრავლადაა ჩვენს მრავალსაუკუნოვან ისტორიაში. ძმთამკვლელ ომში გამარჯვებული არ არსებობს. ისტორიულმა გამოცდილებამ იქნებ ეხლა მაინც აუხილოს თვალები საქართველოს ძირძველი ტერიტორიების მიერთების ამბიციებით შეპყრობილ პოლიტიკოსებს.

გამოყენებული ლიტერატურა და წყაროები:

I. სამეცნიერო ლიტერატურა

- აბდალაძე, ალ. (1998). *მეტი ობიექტურობა*, ჟურნ. „მნათობი“, N 3-4, თბილისი;
- გრიგორიანი, კ. (1950). *ოვანეს თუმანიანი (1869-19230)*, ლენინგრადი;
- თუმანიანი, ო. (1951): სომეხი და ქართველი ხალხების მეგობრობის შესახებ, ერევანი; რუსულად, კვინიტაძე, გ. (1998). *საქართველოს დამოუკიდებლობის წლები, 1917-1921*. თბილისი;
- ლაცუზბაია, 1999: ლაცუზბაია დავით, ყოლბაია ვახტანგ, გელანტია რაფიელ, ჭახრაკია. თეიმურაზ, აფხაზეთის ლაბირინთი, – თბილისი,
- მაზნიაშვილი, 1927: მაზნიაშვილი გ., მოგონებანი, 1917-1925, თბილისი; მჭედლიშვილი, 2004: მჭედლიშვილი მ., იმპერიის მარწუხებში, თბილისი;
- ფუტკარაძე, 1998: ფუტკარაძე თ., ეთნიკური სტრუქტურა და ეროვნულ-დემოგრაფიული პრობლემები სამცხე-ჯავახეთში, ბათუმი;
- ჩაჩხიანი, 2006 - ჩაჩხიანი ა., ბრძოლა საქართველოს ტერიტორიული მთლიანობისათვის 1918-1919 წლებში, საკანდიდატო დისერტაცია, თბილისი;
- ჩაჩხიანი, 2007: თბილისი - ჩაჩხიანი ა., დაშნაკთა ნაციონალისტურ-ექსპანსიონისტური იდეოლოგია და სომხეთ-საქართველოს 1918-1919 წლების ომი, თბილისი;
- Карпов, 1981: Карпов Сюз Трапезундская империя и западноевропейские государства XIII-XV вв. Москва;

II. საარქივო მონაცემები:

- საქართველოს ცსა, ფ.1864, ს. 1, ფურც. 50-62;
- სცსა, ფ. 1969, აღწ. 4, საქ. 12;
- სომხეთის ცსა, საქმე 12, ან. 2ს., ფურც. 15, გ. ხატისიანი ჩანაწერი, „ჩვენთვის სასარგებლოა საქართველოსთან დავსვით საკითხი არა მარტო ნეიტრალურ ზონაზე, არამედ სასაზღვრო დავის ყველა საკითხზე“
- სომხეთის ცსა, ფ. 114, ს. 56, ფურც.3, 4.

III. დოკუმენტური ფილმი:

- სომხეთ საქართველოს ომი, იუთუბი <https://www.youtube.com/watch?v=F0j-GXfCSQo> (ნანახია 21 აგვისტო, 2021)

emerged almost simultaneously. Immediately after the emergence of independent states, there was a need to separate the borders, but the Dashnak government's unfounded territorial claims and the attempt to violently annex Georgian lands led to the conflict known in history as the Armenian-Georgian war.

The aim of this paper is to show the groundlessness of the Armenian government's territorial claims based on historical sources, scientific literary data, the tendentious nature of the works of Armenian authors published on this topic, and an attempt to present history in a crooked prism.

The methodological basis of the research is the universal scientific principles of objectivity, comprehensiveness and systematicity, historical-comparative and historical-typological methods.

Keywords: Armenian-Georgian War, territorial claims, Dashnak government, Transcaucasian Federation

ხელოვნური ინტელექტის გამოყენების შესაძლებლობები ლიტერატურის სწავლებაში

თამარ სურმანიძე

სსიპ ქალაქ ბათუმის N14 საჯარო სკოლა
tamar91surmanidze@gmail.com

რეზიუმე

განხილულია ხელოვნური ინტელექტის როლი თანამედროვე საგანმანათლებლო სისტემაში, კონკრეტულად ლიტერატურის სწავლების პროცესში, AI-ის დადებითი შედეგები და გამოწვევები. აღწერილია როგორ ეხმარება ხელოვნური ინტელექტის ინსტრუმენტები მასწავლებლებს სასწავლო პროცესი გახადონ საინტერესო და ეფექტური მოსწავლეებისთვის. მოყვანილია კვლევის შედეგები, რამდენად სწორად იყენებენ მოსწავლეები და მასწავლებლები ხელოვნურ ინტელექტს.

სტატიის მიზანია გაანალიზოს ხელოვნური ინტელექტის გამოყენების შესაძლებლობები ლიტერატურის სწავლებისა და შესწავლის პროცესში, გამოავლინოს მისი უპირატესობები, გამოწვევები და განვითარების პერსპექტივები. ანალიზის საგანს წარმოადგენს AI-ის როლი ტექსტის ანალიზში, პერსონაჟთა ურთიერთობების მოდელირებაში, შემოქმედებითი წერის სტიმულირებაში და ინდივიდუალური სწავლის მხარდაჭერაში. დასკვნის სახით, ხაზგასმულია AI-ისა და ტრადიციული მეთოდების სინთეზის მნიშვნელობა განათლების გასაუმჯობესებლად.

საკვანძო სიტყვები: ხელოვნური ინტელექტი, ვიზუალიზაციის პროგრამები, BING.AI, CHATGBT, CLAUDE.AI.

1. შესავალი

ხელოვნურმა ინტელექტმა სრულიად გარდაქმნა ჩვენი ცხოვრებისა და მუშაობის წესი და ამ მხრივ, არც განათლების სფეროა გამონაკლისი. ბოლო წლების განმავლობაში, ხელოვნური ინტელექტი, განათლების ხარისხისა და ხელმისაწვდომობის გასაუმჯობესებლად, ერთ-ერთ მძლავრ ინსტრუმენტად იქცა.

AI-ის ყველაზე პერსპექტიული გამოყენება განათლებაში არის პერსონალიზებული სწავლება. მოსწავლეთა მუშაობისა და ქცევის შესახებ მონაცემების ანალიზით, ხელოვნური ინტელექტის ალგორითმები ინდივიდუალურ სასწავლო საჭიროებებს განსაზღვრავენ. კიდევ ერთი სფერო, სადაც ხელოვნური ინტელექტი დიდ გავლენას ახდენს, არის ახალი საგანმანათლებლო რესურსებისა და ინსტრუმენტების განვითარება. მასწავლებლებს უფრო სწრაფად და ეფექტურად შეუძლიათ საგანმანათლებლო მასალების შექმნა, დაზოგილი დროისა და ძალისხმევის ხარჯზე კი, მეტი ყურადღება ეთმობა სწავლების შემოქმედებით და ინოვაციურ მხარეებს. AI ხელმისაწვდომს ხდის ასევე ინკლუზიურ განათლებას. მთარგმნელობითი ინსტრუმენტები გვეხმარება ენობრივი ბარიერების მოხსნაში და საგანმანათლებლო მასალებს ხელმისაწვდომს ხდის ყველასთვის. ანალოგიურად, ხელოვნური ინტელექტი ეხმარება შეზღუდული შესაძლებლობის მქონე მოსწავლეებს, გაეცნონ საგანმანათლებლო მასალას და ჩაერთონ საკლასო აქტივობებში, შესაბამისად ხელოვნური ინტელექტი ყველა მოსწავლეს აძლევს წარმატების მიღწევის შესაძლებლობას.

2. ძირითადი ნაწილი

21-ე საუკუნის განათლების სისტემაში, ხელოვნური ინტელექტი ჰუმანიტარული საგნების სწავლების პროცესს მთლიანად გარდაქმნის.

ლიტერატურის სწავლება ყოველთვის მოითხოვდა მოსწავლისგან ინტერპრეტაციულ აზროვნებას, ემპათიასა და ანალიტიკურ უნარებს. ტრადიციულ მეთოდებთან ერთად, თანამედროვე სკოლა და უმაღლესი სასწავლებლები მიმართავენ ციფრულ ინსტრუმენტებს. ხელოვნური ინტელექტი, როგორც ინტელექტუალური ტექნოლოგია, ახალ შესაძლებლობებს ქმნის ტექსტების ანალიზის, პერსონაჟთა ფსიქოლოგიისა და თემატური კვლევების მიმართულებით.

ხელოვნური ინტელექტი ლიტერატურის გაკვეთილებზე შეიძლება გახდეს არა მხოლოდ დამხმარე, არამედ შემოქმედებითი და ინტერაქტიული ინსტრუმენტი, რომელიც მოსწავლეებს ტექსტის უფრო ღრმად გააზრებაში დაეხმარება.

ლიტერატურის სწავლებისას ხელოვნური ინტელექტი შეგვიძლია გამოვიყენოთ სხვადასხვა მიმართულებით. პირველი, ყველაზე მნიშვნელოვანი ტექსტის ანალიზია. AI ხელს უწყობს დიდი მოცულობის ტექსტების დამუშავებას. შესაძლებელია თემების, სიმბოლოების, ლექსიკური ერთეულების ავტომატური იდენტიფიცირება. მოკლედ, რომ ვთქვათ ხელოვნური ინტელექტი ამარტივებს სწავლის პროცესს, მისი დახმარებით მოსწავლეს აღარ უწევს ბევრი დროის დახარჯვა სხვადასხვა წვრილმანზე და მას შეუძლია მნიშვნელოვან დეტალებზე ყურადღების კონცენტრირება. მაგ: BING.AI, CHATGBT, CLAUDE.AI და სხვა ინსტრუმენტები საშუალებას გვაძლევს ლიტერატურული ნაწარმოებების ტექსტებზე შევექმნათ ფოტოები, ვიდეოები, გვაწვდის ლიტერატურული ნაწარმოებების ანალიზს, სპეციალური პროგრამები ქმნიან ტექსტის სიტყვიერ ღრუბლებს, რაც მოსწავლეს ტექსტის ძირითად თემას აცნობს.

ლიტერატურული ნაწარმოების ერთ-ერთი სირთულე არის პერსონაჟთა მრავალფეროვანი ურთიერთობები. ხელოვნური ინტელექტის ინსტრუმენტები (მაგ. ვიზუალიზაციის პროგრამები) საშუალებას აძლევს მოსწავლეს დაინახოს პერსონაჟთა კავშირები დიაგრამების სახით. საინტერესოა ვიზუალიზაციის პროგრამები, მოსწავლეები მარტივად იმახსოვრებენ ლიტერატურულ ნაწარმოებებში სხვადასხვა მოვლენებს და კრიტიკულად აფასებენ საკუთარი და ხელოვნური ინტელექტის წარმოსახვას. მაგალითისათვის ავიღოთ „ბედი ქართლისა“, AI-ს ვაწვდით აღწერას: ერეკლე მეფე, მე-18 საუკუნის ტანისამოსში, ტახტზე მჯდარი, შემფოთებული სახით, ფონი ძველი თბილისის ხედი. მოსწავლეები იძიებენ სხვადასხვა საკითხს პოემაში: ეროვნული დრამა, პოეტის პერსპექტივა, სიმბოლური გამოსახულებები და ა.შ. შეიძლება შეიქმნას ისტორიული პორტრეტები, ემოციური სცენები, სიმბოლური ალეგორიები, მასწავლებლებს კი შეუძლიათ მრავალმხრივ გამოიყენონ ილუსტრაციები, აჩვენონ გაკვეთილზე ეს სურათები, როგორც ტექსტების ვიზუალური ინტერპრეტაცია, ან მოსწავლეებს დაავალოს თავად დაწერონ აღწერები, რომლებსაც AI-ში შეიყვანენ და ნახონ როგორ ხედავს კომპიუტერი ტექსტს. შედეგად მოსწავლე უკეთ იაზრებს პოემის ისტორიულ და ემოციურ ფონს. ტექსტი გაცოცხლებული ხდება ვიზუალური ასოციაციებით და სწავლობენ სიმბოლურ აზროვნებას, როგორ შეიძლება სიტყვა იქცეს გამოსახულებად.

ლიტერატურული ნაწარმოებების ერთ-ერთი სირთულე არის პერსონაჟთა მრავალფეროვანი ურთიერთობები. ხელოვნური ინტელექტის ინსტრუმენტები (მაგ. ვიზუალიზაციის პროგრამები) საშუალებას აძლევს მოსწავლეს დაინახოს პერსონაჟთა კავშირები დიაგრამების

სახით. ასევე AI-გენერირებული შეთავაზებები ამდიდრებს მოსწავლეთა შემოქმედებით შესაძლებლობებს. ისინი სწავლობენ ახალი პერსპექტივებიდან პერსონაჟის დახასიათებასა და სიუჟეტის განვითარებას.

საინტერესოა პერსონაჟთა როლური ანალიზი, AI-ს შუძლია პერსონაჟთა მოტივაციებისა და თვისებების ჩამონათვალის შექმნა, მოსწავლეები შემდეგ განიხილავენ თანხმდებიან თუ არა ამ ინტერპრეტაციებზე, აქტიურად მუშაობს ვირტუალურ პერსონაჟებთან ინტერვიუებიც.

AI-ის შუძლია შექმნას ტექსტებზე დაფუძნებული კროსვორდები, ვიქტორინები და ტესტები. თამაშით სწავლა მოსწავლეებში ზრდის მოტივაციას და ინტერესს ლიტერატურული ტექსტებისადმი.

ხელოვნური ინტელექტით შეგვიძლია ასევე ტექსტის აუდიოობუჟად ქცევა, ხელოვნური ინტელექტის ტექნოლოგიების განვითარებამდე აუდიო ფაილების ხელოვნურად გენერირების მეთოდები არ არსებობდა. ბოლო დროს დიდმა კომპანიებმა თავიანთი რესურსები უფრო აქტიურად მიმართეს ამ ამოცანის გადასაჭრელად. ერთ-ერთი პირველები GOOGLE და AMAZONI. ტექსტიდან ხმაში გადაყვანის სერვისები უკვე საკმაოდ დახვეწილია და ადამიანის ბუნებრივ საუბართან მიახლოებულ შედეგებამდეც მიდის.

ხელოვნური ინტელექტი შეგვიძლია გამოვიყენოთ, როგორც ინდივიდუალური მხარდაჭერის საშუალება განსხვავებული შესაძლებლობების მოსწავლეებისთვის. შეზღუდული შესაძლებლობების მქონე მოსწავლეებს შეგვიძლია მივცეთ საშუალება გაეცნონ საგანმანათლებლო მასალებს და ჩაერთონ საკლასო აქტივობებში. შესაბამისად, მაღალი ხელმისაწვდომობისა და ინკლუზიურობის ხელშეწყობით, AI ყველა მოსწავლეს აძლევს წარმატების მიღწევის შესაძლებლობას.

მასწავლებლებსა და მოსწავლეებში ჩავატარე კვლევა, იმასთან დაკავშირებით თუ რამდენად ხშირად იყენებენ ხელოვნურ ინტელექტს, რა მიზნით და რა შინაარსობრივი დატვირთვით. კვლევის მთავარი მიზანი იყო დამედგინა სწორად იყენებენ თუ არა მასწავლებლები და მოსწავლეები AI-ს. კითხვების ფორმულირება(მასწავლებლებისთვის, მონაწილეობა 270-მა მასწავლებელმა მიიღო) იყო ასეთი: იყენებთ თუ არა ხელოვნურ ინტელექტს გაკვეთილის დაგეგმვისას?; აძლევთ თუ არა მოსწავლეებს შესაძლებლობას გამოიყენონ ხელოვნური ინტელექტი? თუ კი როგორ, რა ფორმატით?; აჩვენებთ თუ არა პერსონაჟების გაცოცხლებულ ვერსიებს მოსწავლეებს?; იყენებთ თუ არა ონლაინ ინსტრუმენტებს(თამაში, ქვიზი, ანიმაცია) საგაკვეთილო პროცესში? მიღებული შედეგების მიხედვით დგინდება, რომ გამოკითხული მასწავლებლების 70 პროცენტი არ იყენებს ხელოვნურ ინტელექტს, არ თვლის საჭიროდ, რომ AI გამოიყენოს მოსწავლეთა შემოქმედებითი და კრიტიკული აზროვნების გასავითარებლად, რაც ადასტურებს, რომ მასწავლებლებს გვჭირდება გადამზადება და პრაქტიკული დახმარება, რათა ეფექტურად შევძლოთ ხელოვნური ინტელექტის გამოყენება სასწავლო პროცესში. „ხელოვნური ინტელექტი განათლებაში“ (AIED) საგანმანათლებლო ტექნოლოგიების ერთ-ერთი განვითარებადი სფეროა. მიუხედავად იმისა, რომ ის დაახლოებით, 30 წელია უკვე არსებობს, პედაგოგიკისთვის ჯერ კიდევ გაუგებარია, თუ როგორ უნდა მიიღონ მისგან ფართომასშტაბიანი პედაგოგიური სარგებელი, ან როგორ მოახერხებს ხელოვნური ინტელექტი რეალური ზეგავლენის მოხდენას სწავლა-სწავლების პროცესზე. მეორე მხრივ მოსწავლეთა კვლევის შედეგად დგინდება, რომ მათი უმეტესობა 80 პროცენტი(კვლევაში მონაწილეობა მიიღო 475-მა მოსწავლემ), უბრალოდ სარგებლობს ხელოვნური ინტელექტით და მისგან უბრალოდ ღებულობს მზა დავალებებს. აუცილებელია მოსწავლეებშიც გაიზარდოს ცნობიერება

ხელოვნური ინტელექტით სწორად სარგებლობის შესახებ. განათლების სისტემაში სწორი დამოკიდებულებების ჩამოყალიბების შემდეგ ხელოვნური ინტელექტი მასწავლებლებისათვის დაზოგავს დროს, მოსწავლეებისათვის კი სწავლის გაუმჯობესების საშუალება იქნება.

ხელოვნური ინტელექტი, ისევე როგორც ნებისმიერი სხვა ინსტრუმენტი, გვთავაზობს ბევრ შესაძლებლობას, თუმცა, ამავე დროს, მოიცავს უამრავ საფრთხეს, რაც აუცილებელს ხდის ადამიანის უფლებების პრინციპების გათვალისწინებას მისი გამოყენების საწყის ეტაპზე. პედაგოგებმა უნდა იცოდნენ ხელოვნური ინტელექტის სასწავლო პროცესში გამოყენების ძლიერი და სუსტი მხარეები, რათა გაძლიერდნენ და არ დაიჩაგრონ ციფრული მოქალაქეობის სწავლებისას. მანქანური სწავლებისა და სიღრმისეული დასწავლის საშუალებით, ხელოვნურ ინტელექტს შეუძლია განათლების გამრავალფეროვნება. ხელოვნური ინტელექტის სფეროში მიღწეულმა წარმატებამ შეცვალა მასწავლებელსა და მოსწავლეებს შორი ურთიერთობაც, მთავარი და მნიშვნელოვანია სასკოლო პერსონალის ინფორმირება ხელოვნური ინტელექტისა და მასთან დაკავშირებული ეთიკური გამოწვევების შესახებ სასკოლო კონტექსტში.

AI-ის გამოყენება განათლებაში გარკვეულ გამოწვევებსა და დილემებთანაც არის დაკავშირებული. ზოგიერთი მოსწავლე და სტუდენტი ხელოვნურ ინტელექტს ბოროტად იყენებს და საკმის გამარტივების ნაცვლად მთლიანად მას აკეთებინებს დავალებებსა და პროექტებს, რაც უარყოფითად აისახება მათ განვითარებასა და კრიტიკულ აზროვნებაზე. უარყოფითი მოლოდინი არის ასევე ის, რომ ხელოვნური ინტელექტი მასწავლებლებს ჩაანაცვლებს და განათლების ადამიანურ ელემენტს გააქრობს. ამის პასუხად შეგვიძლია ვთქვათ, რომ მიუხედავად AI-ის მრავალმხრივი განვითარებისა, ის ვერ ჩაანაცვლებს შემოქმედებითობის, თანაგრძნობისა და კრიტიკული აზროვნების უნარებს, რომლებიც მასწავლებლებს შემოაქვთ სასწავლო პროცესში.

ხელოვნური ინტელექტისათვის სირთულეს წარმოადგენს ლიტერატურაში სიღრმისეული ფილოსოფიური შრეების გაშიფვრა. არსებობს ასევე პლაგიატის რისკი და მოსწავლის ავტონომია მცირდება.

ასევე, საკამათო თემაა მოსწავლეთა მონაცემების კონფიდენციალურობისა და უსაფრთხოების საკითხი. ხელოვნური ინტელექტის მქონე სისტემები აგროვებენ და აანალიზებენ დიდი რაოდენობით მონაცემებს სტუდენტის მუშაობისა და ქცევის შესახებ, რაც დაცული უნდა იყოს არავტორიზებული წვდომისგან ან ბოროტად გამოყენებისგან. ამ გამოწვევების გადასაჭრელად, მნიშვნელოვანია, AI-ის გამოყენების სახელმძღვანელო პრინციპებისა და პრაქტიკის შემუშავება. ეს პრინციპები უნდა ეხებოდეს ისეთ საკითხებს, როგორებიცაა მიკერძოება, კონფიდენციალურობა, უსაფრთხოება და გამჭვირვალობა და უნდა შემუშავდეს მასწავლებლებთან, მოსწავლეებთან და სხვა დაინტერესებულ მხარეებთან კონსულტაციით. შედეგად, კი AI-ს განათლებაში ინტეგრირებამ ხელი უნდა შეუწყოს მოსწავლეებში კრიტიკული აზროვნების, კრეატიულობისა და თანაგრძნობის განვითარებას, საბოლოოდ კი, საზოგადოების წინსვლას.

3. დასკვნა

მსოფლიოს მოქალაქეებმა უნდა გააცნობიერონ, თუ რა გავლენას ახდენს ხელოვნური ინტელექტი, რის გაკეთება შეუძლია და არ შეუძლია მას, როდის არის ხელოვნური ინტელექტი სასარგებლო და როდის უნდა დადგეს მისი გამოყენება კითხვის ნიშნის ქვეშ და როგორ უნდა მიემართოს ხელოვნური ინტელექტი საზოგადოების სასიკეთოდ.

ხელოვნური ინტელექტის ინტეგრაცია ლიტერატურის სწავლებაში ქმნის ინოვაციურ შესაძლებლობებს. AI ხელს უწყობს ტექსტის ღრმა ანალიზს, პერსონაჟთა ურთიერთობების გააზრებასა და მოსწავლის შემოქმედებითი უნარების განვითარებას. თუმცა, მისი ეფექტურობა დამოკიდებულია მასწავლებლის მიერ სწორად შერჩეულ მეთოდურ მიდგომებზე. ჰუმანიტარული განათლების ხარისხის გასაუმჯობესებლად აუცილებელია ტრადიციული სწავლების მეთოდებისა და ინოვაციური ტექნოლოგიების სინთეზი.

ლიტერატურა:

1. „ხელოვნური ინტელექტი და განათლება“ - ვეინ ჰოლმისი, ჯენ პერსონი, ირენ ანგელიკა ჩუნტა, ბარბარა ვასონი, ვანია დიმიტროვა.
2. „სწავლა-სწავლების პროცესში ხელოვნური ინტელექტის ეთიკური გზამკვლევი განათლების სპეციალისტებისათვის“ Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2024;
3. Guidance for generative AI in education and research, Miao, Fengchun, UNESCO, Holmes, Wayne 2023;

Opportunities for the Use of Artificial Intelligence in Literature Teaching

Tamar Surmanidze

LEPL Batumi City Public School N14

tamar91surmanidze@gmail.com

Abstract

The aim of the article is to present the role, possibilities, and challenges of artificial intelligence. The subject of analysis is the role of AI in text analysis, modeling of character relationships, stimulating creative writing, and supporting individual learning.

The article discusses the role of artificial intelligence in the modern educational system, specifically in the process of teaching literature. It describes how AI tools help teachers make the learning process more engaging and effective for students. Research findings are provided to show how appropriately students and teachers use artificial intelligence.

The analysis of the research results confirms that the integration of artificial intelligence in literature teaching creates innovative opportunities. AI facilitates in-depth text analysis, understanding of character relationships, and the development of students' creative skills. However, its effectiveness depends on the methodical approaches chosen by the teacher. To improve the quality of humanities education, it is essential to synthesize traditional teaching methods with innovative technologies.

Keywords: artificial intelligence, visualization programs, BING.AI, CHATGBT, CLAUDE.AI.

ციფრული აგრესიის დისკურსი: კიბერბულინგის ენობრივი სტრატეგიები ფეისბუქ-კომენტარებში

ნელი ახვლედიანი, ზეინაბ ახვლედიანი, ია თურმანიძე

ბათუმის შოთა რუსთაველის სახელმწიფო უნივერსიტეტი

neli.akhvlediani@bsu.edu.ge, zeinab.akhvlediani@bsu.edu.ge, ia.rmanidze@bsu.edu.ge

რეზიუმე

თანამედროვე ციფრულმა კომუნიკაციამ მნიშვნელოვნად შეცვალა ურთიერთობის სტრუქტურა და სოციალური დინამიკა. ინტერნეტი და სოციალური მედია გახდა არა მხოლოდ ინფორმაციის გაცვლის, არამედ სოციალური ზეწოლისა და აგრესიის პლატფორმა. აღნიშნული სტატიის მიზანია ციფრული აგრესიის დისკურსის ანალიზი და პრევენციული მიდგომების განსაზღვრა საგანმანათლებლო კონტექსტში. კვლევა განხორციელდა ბათუმის შოთა რუსთაველის სახელმწიფო უნივერსიტეტის ბაკალავრიატის სტუდენტებში ($n=60$; ასაკი 18–25 წელი) და აჩვენა, რომ ციფრული ბულინგი ახალგაზრდებში აღიქმება როგორც მტკივნეული მოვლენა. შედეგები ხაზს უსვამს განათლების სისტემის როლს ციფრული ეთიკის სწავლების განვითარებაში და უნივერსიტეტებში პრევენციული მექანიზმების დანერგვის აუცილებლობას.

საკვანძო სიტყვები: ციფრული აგრესია, ბულინგი, დისკურსი, განათლება, პრევენცია, ეთიკა

ინტერნეტის ეპოქამ კომუნიკაციის ბუნება რადიკალურად გარდაქმნა. სოციალურ ქსელებში ურთიერთობები ხასიათდება დაუყოვნებლობითა და მასშტაბურობით, რაც ერთი მხრივ აძლიერებს ინფორმაციის გაცვლას, ხოლო მეორეს მხრივ – ზრდის აგრესიული ქცევის ალბათობას (Döring, 2023). ენა ციფრულ სივრცეში აღარ წარმოადგენს მხოლოდ აზრის გადმოსაცემ ინსტრუმენტს; ის იქცა სოციალური ძალაუფლების მექანიზმად, რომლის საშუალებითაც ხდება სხვების შეფასება, დასჯა ან გამორჩევა (Leurs, 2022).

ციფრული აგრესიის ფორმები მრავალფეროვანია: პირდაპირი შეურაცხყოფა, ირონია, სარკაზმი, საჯარო დაცინვა და ემოციური ზეწოლა. სოციალური მედია ხშირად განაპირობებს აგრესიის ნორმალიზაციას, რადგან ანონიმურობა ამცირებს პასუხისმგებლობას და ხელს უწყობს ძალადობრივი დისკურსის გავრცელებას (Turtle, 2021).

ციფრული აგრესია წარმოადგენს სოციალურ-ენობრივ ფენომენს, რომელიც აისახება როგორც ტექსტურ, ისე ვიზუალურ დონეზე. თანამედროვე ლინგვისტები მიუთითებენ, რომ ენობრივი აგრესია ციფრულ სივრცეში თანაბრად უკავშირდება კულტურულ სტერეოტიპებსა და იდენტობის პოლიტიკას (Barassi, 2020). დისკურსული ანალიზი გვიჩვენებს, რომ აგრესიული გამოხატუვანი ხშირად ნიღბულია იუმორით ან ირონიით, რაც ართულებს მათ იდენტიფიცირებას და ამცირებს სოციალური კონტროლის ეფექტს (Goffman, 2019).

სოციოლინგვისტურ დონეზე, ციფრული აგრესია უნდა განიხილოს როგორც კომუნიკაციური ნორმების დარღვევა, სადაც ემოციური ინტენსივობა აჭარბებს რაციონალურ არგუმენტაციას (Miller, 2024). ციფრული სივრცე ხშირად იქცევა სცენად, სადაც ინდივიდები იბრძვიან სოციალურ აღიარებაზე, და აგრესია ამ პროცესის ნაწილი ხდება.

კვლევა ჩატარდა ბათუმის შოთა რუსთაველის სახელმწიფო უნივერსიტეტის ბაკალავრიატის სტუდენტებთან, ასაკი 18–25 წელი, 2024 წლის გაზაფხულზე. კვლევის მიზანი იყო სტუდენტების დამოკიდებულების, ემოციური გამოცდილების და პრევენციული მექანიზმების შეფასება ციფრული აგრესიის მიმართ ფეისბუქ - კომენტარების საფუძველზე.

გამოყენებული იქნა შერეული მეთოდი (mixed-methods approach):

- რაოდენობრივი ანალიზი ეფუძნებოდა ანონიმურ კითხვარს 12 კითხვით,
- ხარისხობრივი ნაწილი მოიცავდა ღია პასუხების დისკურსულ ინტერპრეტაციას.

ნიმუში მოიცავდა 60 სტუდენტს, რომელთაგან 55%-მა აღიარა, რომ ერთხელ მაინც გამხდარა ციფრული ბულინგის ან აგრესიის ობიექტი.

კვლევის რაოდენობრივმა ანალიზმა აჩვენა, რომ:

- 55% სტუდენტს ჰქონია ციფრული აგრესიის გამოცდილება;
- 28 % განიცდიდა ემოციურ დისკომფორტს ან სტრესს ბულინგის შემდეგ;
- 17% აღწერდა საკუთარ თავს როგორც „იზოლირებულს“ ან „შეურაცყოფილს“;

ხარისხობრივ ნაწილში სტუდენტთა ციტატები წარმოაჩენს ციფრული ზეწოლის სიღრმეს.

მაგალითისთვის:

- „არასდროს მიფიქრია, თუ ამ დონის აგრესიას გამოიწვევდა ჩემი კომენტარი..“
- „ბულინგის შემდეგ რამდენიმე დღე საერთოდ არ ვიყენებდი ფეისბუქს.“

კვლევის შედეგები ცხადყოფს, რომ ციფრული აგრესიის პრევენცია უნდა დაიწყოს საგანმანათლებლო სივრციდან. აუცილებელია უნივერსიტეტებში და სკოლებში შეიქმნას საგნები ან მოდულები, რომლებიც მოიცავს ციფრული ეთიკის, პასუხისმგებლობისა და კომუნიკაციის კულტურის სწავლას (Leurs, 2022).

პედაგოგებისთვის რეკომენდებულია ტრენინგების დანერგვა, რომლებიც დაეხმარება მათ ციფრული ბულინგის ადრეულ ამოცნობასა და შესაბამის რეაგირებაში. სტუდენტური თვითმმართველობების დონეზე საჭიროა დიალოგური პლატფორმების შექმნა, სადაც ახალგაზრდები შეძლებენ ციფრული ქცევის სტანდარტების განხილვას (Döring, 2023).

ტექნოლოგიური პრევენცია მოიცავს სპეციალური პროგრამების დანერგვას, რომლებიც ამოიცნობს ტოქსიკურ ენობრივ სტრუქტურებს. თუმცა, როგორც Miller (2024) აღნიშნავს, ალგორითმული კონტროლი ვერ ცვლის ემპათიისა და ეთიკური ცნობიერების განვითარებას.

კვლევა აჩვენებს, რომ ციფრული აგრესია ახალგაზრდებში გავრცელებული და ემოციურად მტკივნეული ფენომენია. თუმცა, სტუდენტების პასუხები მიუთითებს მზაობაზე - ისინი ეძებენ მხარდაჭერას, ცოდნას და ინსტრუმენტებს, რომლებიც დაეხმარებათ ციფრულ ურთიერთობებში პასუხისმგებლიან ქცევაში.

ციფრული ეთიკის სწავლება, პედაგოგების გადამზადება და უნივერსიტეტებში მენტორული სერვისების შექმნა წარმოადგენს პრევენციის მთავარ საყრდენებს. მხოლოდ განათლებაზე დაფუძნებული სტრატეგია შეიძლება იქცეს იმ მექანიზმად, რომელიც შეამცირებს ციფრულ აგრესიას და გააძლიერებს უსაფრთხო კომუნიკაციის კულტურას (Turkle, 2021).

გამოყენებული ლიტერატურა:

- Barassi, V. (2020). Activism on the web: Everyday struggles against digital capitalism. Routledge.
- Döring, N. (2023). Mediated aggression and empathy in digital communication. Springer.
- Goffman, E. (2019). The presentation of self in digital life. Princeton University Press.

- Leurs, K. (2022). Digital migration studies: Power, agency and representation. Polity Press.
- Miller, D. (2024). Understanding digital culture (2nd ed.). Sage Publications.
- Turkle, S. (2021). The empathy diaries: A memoir. Penguin Press.

The Discourse of Digital Aggression: Linguistic Strategies of Cyberbullying in Facebook Comments

Neli Akhvlediani, Zeinab Akhvlediani, Ia Turmanidze

Batumi Shota Rustaveli State University

neli.akhvlediani@bsu.edu.ge, zeinab.akhvlediani@bsu.edu.ge

Abstract

This paper examines the phenomenon of digital aggression as a form of communicative violence and explores possible strategies for its prevention within educational contexts. The study, conducted at Batumi Shota Rustaveli State University among 60 undergraduate students aged 18–25, reveals that 55% of respondents have experienced online aggression, while 28% reported emotional stress. The results emphasize the necessity of integrating digital ethics and responsible communication training into university curricula. Educational, psychological, and institutional mechanisms are identified as key factors in promoting awareness and resilience against online aggression.

Keywords: digital aggression, discourse, prevention, education, ethics, empathy

ინტერნეტ პლატფორმების გამოყენების შედეგები საგაკვეთილო პროცესში

მაია ტაკიძე

ბათუმის შოთა რუსთაველის სახელმწიფო უნივერსიტეტი

takidze.maia@gmail.com

რეზიუმე

სტატიაში განხილულია თანამედროვე განათლების სისტემის ერთ-ერთი მთავარი გამოწვევა – ინტერნეტ რესურსების ეფექტიანი ინტეგრაცია საგაკვეთილო პროცესში. ნაშრომი აჩვენებს, რომ ციფრული სასწავლო საშუალებები (ვიდეოები, ვირტუალური ლაბორატორიები, ონლაინ პლატფორმები, საგანმანათლებლო თამაშები) მნიშვნელოვნად ზრდის მოსწავლეთა მოტივაციას, ჩართულობასა და აკადემიურ შედეგებს. მოყვანილია როგორც საერთაშორისო კვლევები, ისე საქართველოს განათლების სისტემაში განხორციელებული ინიციატივები, რომლებიც ადასტურებს ონლაინ რესურსების როლს სწავლების ხარისხის გაუმჯობესებაში. სტატია ხაზს უსვამს როგორც შესაძლებლობებს (კრიტიკული და კრეატიული აზროვნების განვითარება, კოლაბორაციული სწავლა), ისე გამოწვევებს (ინფრასტრუქტურა, ციფრული უთანასწორობა, პედაგოგთა მომზადება).

საკვანძო სიტყვები: ინტერნეტ რესურსი, ციფრული განათლება, ინტერაქტიული სწავლება, სასწავლო პლატფორმები, კოლაბორაციული სწავლა, ციფრული უთანასწორობა

1. შესავალი.

თანამედროვე განათლების სისტემის ერთ-ერთ უმთავრეს გამოწვევას წარმოადგენს ისეთი სასწავლო პროცესის ჩამოყალიბება, რომელიც არ შემოიფარგლება მხოლოდ ცოდნის გადაცემითა და მისი მექანიკური ათვისებით. სწავლება დღეს უფრო კომპლექსური და მრავალფაქტორიანი პროცესია, სადაც მნიშვნელოვანია არა მხოლოდ მასწავლებლისა და მოსწავლის პირდაპირი ინტერაქცია, არამედ ის გარემო პირობებიც, რომლებიც განსაზღვრავს პროცესის შედეგიანობას. სწავლის თანამედროვე მიდგომა განსაკუთრებულ ყურადღებას ამახვილებს მოსწავლეთა ინტელექტუალური, ემოციური და სოციალური უნარების განვითარებაზე. შესაბამისად, საგაკვეთილო პროცესის მთავარი მიზანი არის ისეთი პირობების შექმნა, სადაც მოსწავლე აქტიურად ჩაერთვება შემეცნებით საქმიანობაში და განვითარებს პრობლემის გადაჭრის უნარსა და შემოქმედებით მიდგომას. კვლევების მიხედვით (გარდნერი, 1999; მორგანი, 2006; ივ. ბოკოვიჩი, 2010), სწავლების ეფექტიანობა განისაზღვრება არა მხოლოდ პედაგოგიური მეთოდების მრავალფეროვნებით, არამედ მოსწავლეთა ინტერესების, საჭიროებებისა და ემოციური მდგომარეობის გათვალისწინებით. სწორედ ამიტომ, მასწავლებლის პროფესიული კომპეტენცია მოითხოვს არა მხოლოდ საგნობრივ ცოდნას, არამედ სასწავლო გარემოს მართვის, მოტივაციის გაღვივებისა და ინდივიდუალური მიდგომების გამოყენების უნარსაც. ფაქტორები, რომლებიც საგაკვეთილო პროცესის ხარისხს მნიშვნელოვნად განაპირობებს, მოიცავს: სასწავლო გარემოს ორგანიზებას, სასწავლო მასალის შინაარსის შესაბამისობას მათი ასაკობრივი და პირადი ინტერესების მიმართ და მასწავლებელ-მოსწავლეთა შორის კომუნიკაციის ხარისხს.

2. ძირითადი ტექსტი.

მოსწავლეთა ინტერესის აღძვრისთვის და აქტიური ჩართულობისთვის, საგაკვეთილო პროცესში მასწავლებელი იყენებს სხვადასხვა ინტერაქტიულ მეთოდებს შესაბამისი რესურ-

სების გამოყენებით. ერთ ერთი ასეთი საინტერესო რესურსია - ინტერნეტ რესურსები - ესაა ციფრული რესურსები, რომლებიც ხელმისაწვდომია ინტერნეტით: სასწავლო ვიდეოები, ვებ-საიტები, ხმისა და გამოსახულების მასალა, ვირტუალური ლაბორატორიები, ონლაინ სიმულაციები, საგანმანათლებლო თამაშები, პორტალები, პლატფორმები, ღია საგანმანათლებლო რესურსები (Open Educational Resources, OER). ისინი საშუალებას იძლევიან გაზარდონ სწავლების მოქნილობა (learner flexibility) - მოსწავლეებმა შეძლონ რესურსზე წვდომა ნებისმიერ დროსა და ადგილას; უზრუნველყონ მრავალფეროვანი მატერიალური ფორმები, რაც განსხვავდება მოსწავლის სტილითა და პოტენციალით; ხელი შეუწყონ აქტიურ, გამოკითხვითი, პროექტებზე დაფუძნებულ სწავლას; გააძლიერონ მოტივაცია და ჩართულობა.

An Empirical Study on Strategies and Effectiveness of Using Electronic Teaching Materials (2024) - კვლევა აჩვენებს, რომ როდესაც მასწავლებლები აქტიურად მართავენ ელექტრონული სასწავლო მასალების გამოყენებას (თემაზე დაფუძნებული აქტივობები, კითხვებზე პასუხის გაცემა და ადაპტირებული დავალებები), მოსწავლეთა ჩართულობა და აკადემიური შედეგები საგრძნობლად უმჯობესდება. Teacher Design Using Online Learning Resources: A Comparative Case Study of Science and Mathematics Teachers (Recker, 2013). მოსწავლეები მეტად მოტივირებული და ჩართულები ხდებიან, განსაკუთრებით იმ შემთხვევებში, როდესაც სწავლების პროცესში ვიყენებთ ვირტუალურ სიმულაციებს და თამაშებს (educational games). ინტერნეტ რესურსების მიზნობრივი გამოყენება ზრდის მოსწავლეთა ჩართულობას, აჩქარებს უკუკავშირსა და შეფასებას, რაც თავის მხრივ, აუცილებელი კომპონენტია 21-ე საუკუნის უნარების (ციფრული ხელოვნება, კრიტიკული შეფასება, თანამშრომლობა) განვითარებისთვის.

აღსანიშნავია ის ფაქტი, რომ მასწავლებლები აღიარებენ ინტერნეტ რესურსების პოტენციალს, ხოლო, მეორე მხრივ უწყუნებენ სკოლის ინფრასტრუქტურის, აკადემიური მხარდაჭერისა და რესურსების ხელმისაწვდომობის პრობლემებს. თუმცა, არ შეიძლება არ აღვნიშნოთ ის უდიდესი როლი რაც ინტერნეტ (ციფრულ) სასწავლო რესურსის გამოყენას აქვს საგაკვეთილო პროცესში. სხვადასხვა კვლევით დადასტურდა, რომ ვირტუალური თუ სიმულაციური მასალები სასწავლო პროცესში მოსწავლეებს ეხმარება მასალის ათვისებაში, მასალის გააზრება და დამახსოვრებაში (www.akhaliganatleba.ge). მაგალითად, მასწავლებლის თვალსაზრისით, გაკვეთილში ინტერაქტიული რესურსების ჩართვა მოსწავლეთა ჩართულობას და მოტივაციას მნიშვნელოვნად ზრდის თამაშისა და სწავლების სინთეზი ხელს უწყობს მოსწავლეთა შემოქმედებასა და თანამშრომლობას (www.akhaliganatleba.ge). წარმოგიტყველებთ ინტერნეტ რესურსებს რომლის გამოყენებაც საგაკვეთილო პროცესში ცვლის მოსწავლეთა დამოკიდებულებას და ზრდის ინტერესს სასწავლო მასალისადმი.

GooseChase (თამაში-პლატფორმა) - ეს არის თამაშზე დაფუძნებული პლატფორმა („scavenger hunt“ სტილში), სადაც მასწავლებლები ქმნიან დავალებებს, მოსწავლეები კი რეალურ დროში ასრულებენ მათ. მოსწავლეები გაკვეთილზე იყენებს მობილურ ტექნოლოგიას რომლის მეშვეობით ეგზავნებათ დავალება და ჯგუფებში ხდება შესრულება.

QR Code Generator - მისი პრაქტიკული დანიშნულება, QR კოდების საშუალებით მასწავლებელი სწრაფად უკავშირდება ონლაინ რესურსებს: ვიდეოს, ტექსტს და მასთან დაკავშირებით სხვადასხვა აქტოვებებს, სამუშაო ფაილებს. საკმარისია მობილური მოწყობილობით QR კოდის სკანირება, რათა სასწავლო / საგაკვეთილო აქტოვობაზე მყისიერი წვდომა მიიღონ.

Educreations - ინტერაქტიული ვიდეო გაკვეთილების შექმნა ხმით, ნახაზებითა და ტექსტით ხელს უწყობს პერსონალიზებულ სწავლებას, ამარტივებს რთული თემების ვიზუალიზაციას; აძლიერებს თვითსწავლის უნარს და დისტანციურ სწავლებას.

Polleverywhere.com რეალურ დროში მოსწავლეთა აზრის/პასუხის შეგროვება (სავლე გამოკითხვები, ვიქტორინები) ზრდის ჩართულობას; საშუალებას აძლევს მასწავლებელს მიიღოს უკუკავშირი; აუმჯობესებს საკომუნიკაციო და ანალიტიკურ უნარებს.

Padle ონლაინ დაფა იდეების, სურათების, ბმულებისა და ტექსტების გასაზიარებლად. ხელს უწყობს კოლაბორაციულ სწავლებას; ქმნის ვიზუალურად მიმზიდველ რესურსს; ამაღლებს მოსწავლეთა კრეატიულობას.

Google sheets - მონაცემების კოლაბორაციული დამუშავება, ანალიზი და ვიზუალიზაცია. ავითარებს გუნდურ მუშაობასა და ანალიტიკურ უნარებს; ხელს უწყობს პრაქტიკული ცოდნის გამოყენებას რეალურ ამოცანებში. ასევე, კომიქსების შექმნა სასწავლო პროცესში ინტერნეტ რესურსების გამოყენებით არის ერთ-ერთი ყველაზე ეფექტური და ინტერაქტიული მეთოდი, რომელიც აერთიანებს კრეატიულობას, ციფრულ ტექნოლოგიას და საგნობრივ ცოდნას.

საქართველოში უკვე მოქმედებს რამდენიმე წარმატებული ინიციატივა. 2019 წელს UNICEF-ისა და ტალინის უნივერსიტეტის ერთობლივი პროგრამით, საქართველოში 15 სკოლა ჩაერთო ინოვაციურ სასწავლო პროექტში unicef.org. ამ პროექტის ფარგლებში პედაგოგებისთვის შემუშავდა სხვადასხვა დირექტივები, საერთაშორისო სასწავლო რესურსების პაკეტი, მათ შორის ციფრული მოდულები ინგლისური ენისა და სხვა საგნებისთვის (unicef.org). კერძო სექტორის ინიციატივით არსებობს English-for-Beginners ონლაინკურსი, რომელიც ბავშვებსა და მასწავლებლებს მხარს უჭერს პირველკლასელთა ინგლისურის შესწავლაში (www.sulakauri.edu.ge). ასევე, ქიმიისა და ფიზიკის მასწავლებლებისთვის, საბუნებისმეტყველო საგნებში, არსებობს პორტალი www.chemiskola.ge რომელიც ასწავლის ნივთიერებათა რეაქციებს და სხვა ციფრულ ლაბორატორიებს. eTwinning პლატფორმაზე, ქართველი პედაგოგები რამდენიმე წლის განმავლობაში წარმატებით იყვნენ ჩართულნი საერთაშორისო პროექტებში. კვლევამ აჩვენა, რომ უცხო ენის მასწავლებლების მონაწილეობამ მნიშვნელოვნად გაუმჯობესა ციფრული, კულტურათაშორისი და პროექტული სწავლების უნარები school-education.ec.europa მასწავლებლები აღნიშნავენ, რომ ამ პროექტების საშუალებით გაძლიერდა თანამშრომლობა ევროპელ კოლეგებთან, მოხდა ახალი სასწავლო მეთოდების და სტარტეგიების დანერგვა სასწავლო პროცესში, რამაც კლასის მანდატიც გაუმჯობესა – ბავშვებს შეეძინათ პროექტული სწავლების გამოცდილება და კომუნიკაციური უნარები. საქართველოს განათლების სამინისტრო ინტენსიურად მუშაობს ციფრული სასწავლო გარემოს განვითარებაზე. 2018 წლიდან დაიწყო უწყვეტი სისტემური რეფორმა: Microsoft-თან თანამშრომლობით განხორციელდა Microsoft 365 პლატფორმის დანერგვა სკოლებში. პედაგოგებისთვის ჩატარდა მასშტაბური ტრენინგები და ქართული ენობრივი ინტერფეისით დაინერგა Teams-ის პლატფორმა, შედეგად, რამდენიმე თვეში აქტიური მომხმარებელთა რაოდენობა 750-დან ~ 300 000-მდე გაიზარდა.

3. დასკვნა.

დასკვნის სახით ვიტყვით, რომ ინტერნეტ რესურსების ინტეგრაცია საგაკვეთილო პროცესში ქმნის მდიდარ შესაძლებლობებს როგორც მოსწავლეთათვის, ისე მასწავლებელთათვის. მათი ეფექტურობა გამოიხატება ცოდნის დამუშავების მრავალფეროვან სტილში, კრიტიკული აზროვნების, კრეატიული აზროვნებისა და თანამშრომლობის უნარების

განვითარებაში. მიუხედავად არსებული გამოწვევებისა - ციფრული უთანასწორობა, ინფრასტრუქტურული პრობლემები და მასწავლებელთა მომზადების საჭიროება - კვლევები ადასტურებს, რომ ონლაინ პლატფორმების მიზანმიმართული გამოყენება სწავლების ხარისხის ამაღლების ერთ-ერთ მთავარ გზად რჩება. თანამედროვე განათლება აღარ შემოიფარგლება მხოლოდ ტრადიციული მეთოდებით. ინტერნეტ პლატფორმები ქმნის დამატებით შესაძლებლობებს, რომლებიც ხელს უწყობს როგორც აკადემიური შედეგების გაუმჯობესებას, ისე მოსწავლეთა მოტივაციისა და ინტერესის ამაღლებას. აუცილებელია, რომ სკოლებმა და პედაგოგებმა სისტემურად განავითარონ ონლაინ რესურსების გამოყენება, რადგან მათი პოტენციალი სწავლების ხარისხის გაუმჯობესებაში შეუცვლელია.

გამოყენებული ლიტერატურა:

1. გარდნერი, ჰ. (1999). Multiple Intelligences: The Theory in Practice. New York: Basic Books.
2. მორგანი, კ. (2006). Teaching and Learning Strategies. Routledge.
3. ზოკოვიჩი, ივ. (2010). Contemporary Pedagogical Approaches. თბილისი.
4. An Empirical Study on Strategies and Effectiveness of Using Electronic Teaching Materials. (2024).
5. Recker, M. (2013). Teacher Design Using Online Learning Resources: A Comparative Case Study of Science and Mathematics Teachers.
6. akhaliganatleba.ge – თანამედროვე განათლების რესურსები.
7. unicef.org – UNICEF-ისა და ტაშინის უნივერსიტეტის ინიციატიური საგანმანათლებლო პროექტები საქართველოში.
8. sulakauri.edu.ge – English-for-Beginners ონლაინკურსი.
9. chemiskola – ქიმიისა და ფიზიკის მასწავლებლებისთვის ციფრული ლაბორატორიები.
10. school-education.ec.europa.eu – eTwinning პლატფორმის გამოცდილება.
11. microsoft.com – Microsoft 365-ის დანერგვის გამოცდილება საქართველოს სკოლებში.

Results of using Internet platforms in the teaching process

Maia Takidze

Batumi Shota Rustaveli State University

takidze.maia@gmail.com

Abstract

The article discusses one of the major challenges of the modern educational system – the effective integration of Internet resources into the classroom process. The paper highlights the importance of digital learning tools (educational videos, virtual laboratories, online platforms, and educational games) in enhancing students' motivation, engagement, and academic achievement. It presents both international research findings and initiatives implemented within the Georgian educational system, which confirm the role of online resources in improving the quality of teaching and learning. The text emphasizes not only the opportunities created by digital resources (development of critical and creative thinking, collaborative learning), but also the existing challenges (infrastructural limitations, digital inequality, and the need for professional development of teachers).

Keywords: internet resource, digital education, interactive learning, learning platforms, student motivation, collaborative learning, digital inequality

სამაგისტრო კვლევის მეთოდოლოგიური ასპექტები: გამოწვევები და საუკეთესო პრაქტიკა

მარინე გურგენიძე, ნანი მამულაძე, ანა ოქროპირიძე

ბათუმის შოთა რუსთაველის სახელმწიფო უნივერსიტეტი

marine.gurgenidze@bsu.edu.ge, n.mamuladze@bsu.edu.ge

აბსტრაქტი

წინამდებარე კვლევა მიზნად ისახავს სამაგისტრო ნაშრომებში გამოყენებული მეთოდოლოგიის ხარისხის შეფასებას, როგორც გამოწვევების, ისე საუკეთესო პრაქტიკის იდენტიფიკაციას და პრაქტიკული რეკომენდაციების შემუშავებას. ანალიზი ეფუძნება 40 სამაგისტრო ნაშრომის (განათლების მეცნიერებათა მიმართულება, 2016–2024 წწ.) დოკუმენტურ შესწავლას, რომელიც აერთიანებს როგორც რაოდენობრივ, ისე თვისებრივ მიდგომებს.

კვლევამ გამოავლინა, რომ სტუდენტთა კვლევითი კომპეტენციების სისტემატური, ეტაპობრივი განვითარება მნიშვნელოვნად აუმჯობესებს სამაგისტრო ნაშრომების ხარისხს. პროგრამები, რომლებიც მოიცავენ აკადემიური წერის, კვლევის მეთოდების და პრაქტიკის კვლევის თანმიმდევრულ კურსებს, მეტად აძლევს სტუდენტებს შესაძლებლობას, ნაშრომებში უკეთესად არის ჩამოაყალიბონ საკვლევი პრობლემა, ანალიტიკურად გადმოსცენ მეთოდოლოგია და შედეგებს ღრმა ინტერპრეტაცია გაუკეთონ. კვლევამ ასევე გამოავლინა გარკვეული სისტემური გამოწვევები: ზოგიერთ ნაშრომში კვლევის შეზღუდვების არასაკმარისი რეგულაცია, მეთოდოლოგიის აღწერითი წარმოდგენა და კვლევის ობიექტის შერჩევის სტრატეგიების არასაკმარისი დასაბუთება. ნაშრომში წარმოდგენილია კომპლექსური რეკომენდაციები და საუკეთესო პრაქტიკის მაგალითები, რომლებიც ორიენტირებულია კვლევითი ხარისხის შემდგომ გაძლიერებაზე.

საკვანძო სიტყვები: სამაგისტრო ნაშრომი, კვლევის მეთოდოლოგია, კვლევითი კომპეტენციები, ხარისხის უზრუნველყოფა

1. შესავალი.

სამაგისტრო ნაშრომი წარმოადგენს სტუდენტის კვლევითი კომპეტენციების, ანალიტიკური აზროვნების და მეცნიერული ხედვის გამოხატულებას. იგი აყალიბებს კრიტიკული აზროვნების უნარებს და ამზადებს მომავალ მკვლევრებს დამოუკიდებელი სამეცნიერო საქმიანობისთვის (Creswell, 2014).

თანამედროვე კვლევითი პრაქტიკა აჩვენებს, რომ სამაგისტრო ნაშრომების ხარისხი მნიშვნელოვნად დამოკიდებულია იმაზე, თუ როგორ არის ორგანიზებული სტუდენტთა კვლევითი კომპეტენციების განვითარების პროცესი. საერთაშორისო გამოცდილება მუდმივად ხაზს უსვამს კვლევის დიზაინის მნიშვნელობას, (Creswell, Creswell, 2018) მეთოდოლოგიური სიზუსტის აუცილებლობას (Cohen, Manion, Morrison, 2018) და მონაცემთა სისტემატური ანალიზის როლს (Miles, Huberman, Saldaña, 2014). უმაღლესი განათლების სფეროში მზარდი ინტერესი იმის გააზრებისკენ, თუ რა ფაქტორები უწყობს ხელს ან აფერხებს სტუდენტურ კვლევას. ბოლო ათწლეულების კვლევები მიუთითებს, რომ წარმატებული სამაგისტრო ნაშრომი არის სისტემური პროცესის შედეგი, რომელიც მოიცავს ეტაპობრივ უნარების განვითარებას (Paltridge, Starfield, 2007).

ქართულ აკადემიურ სივრცეში შეინიშნება პოზიტიური ტენდენციები - უნივერსიტეტების უმრავლესობამ უკვე დანერგა სტრუქტურირებული მიდგომები მაგისტრატურის პროგრამებში, რომლებიც მოიცავენ აკადემიური წერის, კვლევის მეთოდების და პრაქტიკის კვლევის თანმიმდევრულ კურსებს. ამ მიდგომის შედეგები დამაჯერებელია - სტუდენტები, რომლებიც გადიან ასეთ სისტემატურ მომზადებას, უკეთესად ახდენენ საკვლევო პრობლემის ფორმულირებას, მეთოდოლოგიის შერჩევასა და გამოყენებას, შედეგების ინტერპრეტაციას. თუმცა კვლევითი პრაქტიკის გაუმჯობესების პოტენციალი კვლავ არსებობს. ზოგიერთ ნაშრომში კვლავ შეინიშნება გარკვეული გამოწვევები, რომლებიც მოითხოვს სისტემურ ყურადღებას.

წინამდებარე კვლევა სწორედ ამ პრობლემის სისტემურ გააზრებას, საუკეთესო პრაქტიკის იდენტიფიკაციას და პრაქტიკული გადაწყვეტილებების შემუშავებას ისახავს მიზნად.

2. კვლევის დიზაინისა და მეთოდოლოგიის თეორიული საფუძვლები.

კვლევის დიზაინი წარმოადგენს კვლევითი პროცესის საფუძველს, რომელიც განსაზღვრავს საკვლევო მუშაობის ლოგიკას, სტრუქტურასა და თანმიმდევრობას. ჯონ კრესველის (2014, 2018) კლასიკური დეფინიციით, კვლევის დიზაინი მოიცავს ფილოსოფიურ დაშვებებს, კონკრეტულ კვლევით პროცედურებს და დეტალურ მეთოდოლოგიურ ნაბიჯებს, რომლებიც ერთობლივად განსაზღვრავს კვლევის მიდგომას. სწორად შერჩეული დიზაინი უზრუნველყოფს კვლევის ლოგიკას და საშუალებას იძლევა, მიღებულ იქნეს სანდო და ვალიდური შედეგები.

კოენი, მენიონი და მორისონი (2018) ხაზს უსვამენ, რომ მკვლევარმა უნდა გაითვალისწინოს არა მხოლოდ მეთოდოლოგიური ინსტრუმენტები, არამედ კვლევის ფილოსოფიური საფუძვლები, რომლებიც განსაზღვრავს ვალიდურობის კრიტერიუმებს. მეთოდოლოგიის არჩევა უნდა იყოს გააზრებული პროცესი, რომელიც ითვალისწინებს კვლევის მიზნებს, საკვლევ კითხვებს, ხელმისაწვდომ რესურსებს და კონტექსტურ ფაქტორებს. მაილსი, ჰუბერმანი და სალდანი (2014) მიუთითებენ, რომ თვისებრივი კვლევა მოითხოვს ეტაპობრივ მიდგომას მონაცემთა შეგროვებიდან დასკვნების ფორმულირებამდე. მათი სამეტაპიანი ანალიზის მოდელი წარმოადგენს თვისებრივი კვლევის ოქროს სტანდარტს და უზრუნველყოფს ანალიზის სიღრმეს.

თანამედროვე ლიტერატურა ხაზს უსვამს, რომ კვლევითი კომპეტენციები არ არის ერთჯერადად შესაძენი უნარები, არამედ მოითხოვს ეტაპობრივ, სისტემატურ განვითარებას (Wisker, 2012). პალტრიჯი და სტარფილდი (2007) აღნიშნავენ, რომ წარმატებული სამაგისტრო პროგრამები ავითარებენ კვლევით კომპეტენციებს თანმიმდევრული კურსების სისტემის საშუალებით, რომელიც იწყება ფუნდამენტური უნარებიდან და მთავრდება კომპლექსური დამოუკიდებელი კვლევის განხორციელებით. კემერონი და ჯეთერი (2013) გამოყოფენ კვლევითი კომპეტენციების განვითარების კრიტიკულ ეტაპებს: აკადემიური წერის დაუფლება, კვლევის მეთოდების შესწავლა, პრაქტიკის კვლევა და დამოუკიდებელი კვლევა. ბური და პარკერი (2016) მიუთითებენ, რომ ეს ეტაპობრივი მიდგომა მნიშვნელოვნად ამცირებს ტიპურ მეთოდოლოგიურ შეცდომებს სამაგისტრო ნაშრომებში.

ფილდი (2018) ხაზს უსვამს, რომ კვლევითი ინსტრუმენტის ხარისხი უშუალოდ განსაზღვრავს კვლევის შედეგების სანდოობას. ვალიდაცია მოიცავს რამდენიმე განზომილებას: შინაარსობრივი ვალიდურობა, კონსტრუქტის ვალიდურობა და კრიტერიუმული ვალიდურობა.

პრაისი და მურნანი (2004) აღნიშნავენ, რომ კვლევის შეზღუდვების გააზრება და ღია აღიარება არის სამეცნიერო პატიოსნებისა და კრიტიკული აზროვნების მაჩვენებელი. მნიშვნელოვანია, რომ შეზღუდვები არ იყოს მხოლოდ ჩამოთვლილი, არამედ კრიტიკულად გაანალიზებული.

3. კვლევის მეთოდოლოგია.

წინამდებარე კვლევის მთავარი მიზანია სამაგისტრო ნაშრომებში გამოყენებული კვლევითი მეთოდების ხარისხის, თანმიმდევრულობისა და შესაბამისობის შეფასება, როგორც გამოწვევების, ისე საუკეთესო პრაქტიკის იდენტიფიკაცია და კომპლექსური რეკომენდაციების შემუშავება. კვლევა ეფუძნება დოკუმენტური ანალიზის მეთოდოლოგიას, რომელიც აერთიანებს როგორც რაოდენობრივ, ისე თვისებრივ მიდგომებს. ეს შერეული მეთოდების დიზაინი საშუალებას იძლევა მივიღოთ სტატისტიკური მონაცემები ტენდენციების შესახებ და ამავდროულად ღრმად გავიაზროთ მეთოდოლოგიური თავისებურებები და საუკეთესო პრაქტიკა.

კვლევის ობიექტს წარმოადგენს 40 სამაგისტრო ნაშრომი განათლების მეცნიერებათა მიმართულებით, რომლებიც შექმნილია 2016-2024 წლებში. შერჩევის მეთოდი იყო მიზანმიმართული შერჩევა მაქსიმალური ვარიაციის პრინციპით, რათა მოეცვა როგორც სტანდარტული, ისე გამორჩეული მაგალითები, რაც საშუალებას იძლევა იდენტიფიცირდეს როგორც გამოწვევები, ისე საუკეთესო პრაქტიკა. მონაცემთა შეგროვება განხორციელდა სტრუქტურირებული ანალიზის ინსტრუმენტის საშუალებით, რომელიც მოიცავდა 14 ძირითად განზომილებას: კვლევის დიზაინის ტიპი, ეტაპების თანმიმდევრობა, საკვლევი პრობლემის ფორმულირება, ნიმუშის მახასიათებლები, მონაცემთა შეგროვების მეთოდები, ინსტრუმენტების ვალიდაცია, სანდოობა, მონაცემთა ანალიზის მეთოდები, ანალიზის სიღრმე, მეთოდოლოგიის წარმოდგენის ტიპი, შეზღუდვების რეფლექსია, ეთიკური საკითხები და კვლევითი კომპეტენციების განვითარება.

მონაცემთა რაოდენობრივი ანალიზი მოიცავდა აღწერით სტატისტიკას და ტენდენციების იდენტიფიკაციას დროის მიხედვით, ხოლო თვისებრივი ანალიზი მოიცავდა თემატურ ანალიზს, საუკეთესო პრაქტიკის მაგალითების იდენტიფიკაციას, გამოწვევების კატეგორიზაციას და შედარებით ანალიზს. ანალიზის პროცესში დაცული იქნა ეთიკური პრინციპები: ნაშრომების ავტორთა ანონიმურობა, კონფიდენციალურობა და ობიექტური, რესპექტული მიდგომა.

3. კვლევის შედეგები.

კვლევის შედეგების ანალიზმა აჩვენა, რომ ნაშრომები ჰეტეროგენულია - ნაწილი მაღალი ხარისხის, თეორიულად გამყარებული და მეთოდოლოგიურად მკაფიო კვლევებია, ხოლო ნაწილი საჭიროებს გარკვეულ გაუმჯობესებებს. კვლევის დიზაინის მიხედვით, დომინირებს რაოდენობრივი მიდგომა (55%), შემდეგ მოდის შერეული მეთოდები (30%) და თვისებრივი კვლევები (15%). რაოდენობრივი მიდგომის სიჭარბე ასახავს როგორც მისი გამოყენების სიმარტივეს დამწყები მკვლევრებისთვის, ისე იმას, რომ განათლების მეცნიერებებში იგი ტრადიციულად წამყვან პარადიგმად რჩება.

შედეგების ანალიზით დასტურება, რომ ეტაპობრივ კვლევით მომზადებას სამაგისტრო ნაშრომის ხარისხზე პირდაპირი, დადებითი გავლენა აქვს. სისტემატურად მომზადებული სტუდენტების ნაშრომებში (40%) ამკარად ჩანს, რომ ისინი გადიოდნენ აკადემიური წერის,

კვლევითი მეთოდების და პრაქტიკის ეტაპობრივ სწავლასა და განხორციელებას. ამ ნაშრომებს გამოარჩევს **საკვლევი პრობლემის ნათლად ფორმულირება**, თემის **აქტუალობა** და **მეთოდოლოგიის მაღალ დონეზე ახსნა**. განსაკუთრებულად აღსანიშნავია, რომ პირველ ჯგუფში ნაშრომების 88%-ში მეთოდოლოგია არა მხოლოდ აღწერილია, არამედ **დასაბუთებულია, არგუმენტირებულია** და მოცემულია, რატომ არის კონკრეტული მიდგომა ოპტიმალური, ასევე განხილულია ალტერნატივებიც. საუკეთესო პრაქტიკის მაგალითია შემდეგი ციტატა: "წინამდებარე კვლევისთვის არჩეულ იქნა შერეული მეთოდების დიზაინი, რადგან მხოლოდ რაოდენობრივი მიდგომა არ იძლეოდა საშუალებას, ღრმად გაგვეგო მასწავლებელთა პერცეფციები და მოტივაციები. თვისებრივი კომპონენტი აუცილებელი იყო, რათა ვიპოვოთ ახსნა რაოდენობრივად გამოვლენილი ტენდენციებისთვის. ალტერნატიული იყო სრულად თვისებრივი მიდგომა, თუმცა იგი ვერ მოგვცემდა საშუალებას, დაგვედგინა ტენდენციების გავრცელების მასშტაბი."

ინსტრუმენტების ვალიდაცია (75% სისტემატური მომზადების ჯგუფში) მოიცავს ინსტრუმენტების ვალიდაციის რაიმე ფორმას, ხშირია პილოტირების აღწერა პატარა ნიმუშზე. ანალიზის სიღრმეც მნიშვნელოვნად გამოირჩევა - 81% აღწევს ანალიტიკურ ან ინტერპრეტაციულ დონეს, მაშინ როცა სისტემატური მომზადების გარეშე ეს მაჩვენებელი მხოლოდ 29%-ია. ანალიზი არ შემოიფარგლება მონაცემების აღწერით, მკაფიოდ არის წარმოდგენილი ახსნითი მიდგომები, მონაცემები დაკავშირებულია თეორიულ ჩარჩოსთან და გამოკვეთილია პატერნები და მათი ინტერპრეტაცია.

სისტემატური მომზადების ჯგუფის ნაშრომების 69%-ში შესამჩნევია **შეზღუდვების კრიტიკული ანალიზი**. ამ ნაშრომებში შეზღუდვები არა მხოლოდ ჩამოთვლილია, არამედ გააზრებულია, **როგორ შეიძლება ისინი გავლენას ახდენდნენ შედეგების ინტერპრეტაციაზე**. საუკეთესო პრაქტიკის მაგალითია: "კვლევის ძირითადი შეზღუდვა იყო მოსახერხებელი შერჩევა, რაც ზღუდავს შედეგების განზოგადებას. თუმცა კვლევის მიზანი არ იყო სტატისტიკური განზოგადება, არამედ იყო ღრმა გააზრება კონკრეტული კონტექსტის. მომავალი კვლევებისთვის რეკომენდებულია კვლევის მრავალ საგანმანათლებლო დაწესებულებაში ჩატარება მიზანმიმართული შერჩევით."

მეთოდოლოგიის წარმოდგენის ტიპი განსხვავებულია ნაშრომებში. ნაშრომების 35%-ში მეთოდოლოგია წარმოდგენილია დასაბუთებულად. ამ ნაშრომებში ნათლად არის ახსნილი, რატომ არის მოცემული მეთოდი კვლევის შესაფერისი, მოხსენიებულია სხვა შესაძლო მიდგომები და მათი უარყოფის მიზეზები, აღიარებულია არჩეული მეთოდის როგორც ძლიერი მხარე, ისე შეზღუდვები და მეთოდი შერჩეულია კონკრეტული საკვლევი კითხვების და პირობების გათვალისწინებით. 65% ნაშრომებში კი მეთოდოლოგია გადმოცემულია სტანდარტულ ფორმატში, დასაბუთების გარეშე და მექანიკური აღწერით. ეს მიუთითებს, რომ სტუდენტები შესაძლოა მექანიკურად მიჰყვებიან შაბლონს და კრიტიკულად არ აფასებენ მეთოდოლოგიურ არჩევანს.

შეზღუდვების განხილვა არის კვლევის ხარისხის მნიშვნელოვანი ინდიკატორი. ნაშრომების 30%-ში გადმოცემულია შეზღუდვების დეტალური ანალიზი, მათი გავლენა შედეგების ინტერპრეტაციაზე და მოცემულია რეკომენდაციები შეზღუდვების დაძლევისთვის მომავალ კვლევებში. 45%-ში შეზღუდვები მოხსენიებულია, მაგრამ ზოგადად, ტიპური ფორმულირებებით და კონკრეტული იმპლიკაციების განხილვის გარეშე. 25%-ში არაა მითითებული კვლევის შეზღუდვები. შეზღუდვების არქონა კი ქმნის შთაბეჭდილებას "იდეალური კვლევისა", რაც არეალისტურია.

ინსტრუმენტების ხარისხის ანალიზმა აჩვენა მნიშვნელოვანი ვარიაციები. ვალიდაციის მაღალი დონის ნაშრომებში (22.5%) ინსტრუმენტის შემუშავების ან ადაპტაციის პროცესი დეტალურადაა აღწერილი, განხილულია შინაარსობრივი და კონსტრუქტული ვალიდურობა. ვალიდაციის საშუალო დონის ნაშრომებში (35%) ზოგად მითითებაა ვალიდაციაზე და ინსტრუმენტის შემუშავება ნაწილობრივია აღწერილი. 42.5%-ში არ არის მოხსენიებული ვალიდაციის რაიმე ფორმა და ინსტრუმენტი წარმოდგენილია როგორც "მოცემულობა". სანდოობის შემოწმება კი მხოლოდ ერთ ნაშრომში არის მოცემული, დანარჩენ შემთხვევებში სანდოობის საკითხი არ არის განხილული.

შედეგების ანალიზის სიღრმე შეფასებულ იქნა სამი დონის მიხედვით. ახსნითი ან ინტერპრეტაციული ანალიზი გაკეთებულია ნაშრომების 27.5% - მონაცემები დაკავშირებულია თეორიულ ჩარჩოსთან, გამოკვეთილია მიზეზ-შედეგობრივი კავშირები, წარმოდგენილია ახსნითი მოდელები ან თეორიული დასკვნები. ანალიზი სცილდება აღწერას და ინტერპრეტირებულია. საუკეთესო პრაქტიკის მაგალითია: "თვისებრივი ანალიზის საფუძველზე გამოიკვეთა სამი ძირითადი თემა... ეს თემები შეიძლება აიხსნას თვითგანსაზღვრის თეორიის პრიზმიდან. მასწავლებელთა მოტივაციის დაქვეითება უკავშირდება ავტონომიის, კომპეტენტურობისა და კავშირის საჭიროებების დაუკმაყოფილებლობას."

ნაშრომების 37.5%-ში მონაცემები შედარებულია ჯგუფების ან კატეგორიების მიხედვით, დასკვნები ფორმულირებულია, მაგრამ შეზღუდულია ინტერპრეტაცია. აღწერითი დონის ნაშრომები (35%) შემოიფარგლება მონაცემების აღწერით, სიხშირეების, პროცენტების და ციტატების მოყვანით, მინიმალური ინტერპრეტაციით ან ახსნით.

ანალიზმა გამოავლინა რამდენიმე ნაშრომი, რომლებიც გამოირჩევიან მეთოდოლოგიური სიღრმით. ერთ-ერთი მაგალითი არის შერეული მეთოდების ოპტიმალური ინტეგრაცია, სადაც კითხვარის საშუალებით მიღებული რაოდენობრივი მონაცემები ავლენდა ტენდენციებს და ფოკუს-ჯგუფური დისკუსიები გამოყენებული იყო რაოდენობრივი მონაცემების ახსნისთვის, ორივე ტიპის მონაცემი იყო სინთეზირებული საბოლოო ინტერპრეტაციაში და მკაფიოდ იყო აღწერილი, როგორ აძლიერებდა ერთი მეთოდი მეორეს. მეორე მაგალითი არის შეზღუდვების ღრმა რეფლექსია: "კვლევის მთავარი მეთოდოლოგიური შეზღუდვა იყო კროს-სექციური დიზაინი, რომელიც საშუალებას არ იძლევა დავადგინოთ მიზეზ-შედეგობრივი კავშირები. მიუხედავად იმისა, რომ შედეგები მიუთითებს კორელაციებზე პროფესიულ განვითარებასა და სასწავლო პრაქტიკას შორის, არ შეიძლება დავასკვნათ, რომ პირველი იწვევს მეორეს. ამისთვის საჭირო იქნებოდა ლონგიტუდინური დიზაინი ან ექსპერიმენტული ინტერვენცია." მესამე მაგალითი არის მეთოდოლოგიის ანალიტიკური დასაბუთება: "კვლევისთვის არჩეულ იქნა კონსტრუქტივისტური პარადიგმა, რადგან კვლევის მიზანი იყო არა ობიექტური რეალობის გაზომვა, არამედ მასწავლებელთა სუბიექტური გამოცდილების გააზრება. ალტერნატიული იქნებოდა რაოდენობრივი მეთოდებით კვლევა, თუმცა ის ვერ მოგვცემდა საშუალებას, ჩავწვდომოდით მნიშვნელობათა სიღრმეს და კონტექსტის კომპლექსურობას."

მიუხედავად პოზიტიური მაგალითებისა, კვლევამ გამოავლინა რამდენიმე სისტემური გამოწვევა: 1. მეთოდოლოგიის აღწერითი წარმოდგენა 65% ნაშრომში, რაც მიუთითებს, რომ სტუდენტები შესაძლოა არ იცნობენ მეთოდოლოგიის დასაბუთების მნიშვნელობას ან მიჰყვებიან შაბლონს კრიტიკული გააზრების გარეშე. 2. შეზღუდვების არასაკმარისი რეფლექსია 70% ნაშრომში. 3. ინსტრუმენტების ვალიდაციის ნაკლებობა 42.5% ნაშრომში, რაც აფერხებს შედეგების სანდოობას. 4. კვლევის ობიექტის შერჩევის არასაკმარისი დასაბუთება 60% ნაშრომში. 5. ლიტერატურისა და ემპირიული ნაწილის სუსტი ინტეგრაცია 55% ნაშრომში.

4. შედეგების ანალიზი.

კვლევამ დაასაბუთა, რომ ეტაპობრივი, სისტემატური მომზადება კრიტიკულად მნიშვნელოვანია სამაგისტრო ნაშრომის ხარისხისთვის. ნაშრომები, სადაც ჩანს, რომ სტუდენტები გადიან თანმიმდევრულ მომზადებას, მნიშვნელოვან შედეგებს ავლენენ თითქმის ყველა მეთოდოლოგიურ განხორციელებაში. ეს მიგნება შეესაბამება საერთაშორისო ლიტერატურას. სტუდენტები, რომლებმაც გაიარეს ეტაპობრივი მომზადება, უკეთ აყალიბებდნენ საკვლევ პრობლემას, ანალიტიკურად წარმოადგენდნენ მეთოდოლოგიას, უფრო ხშირად ახორციელებდნენ ინსტრუმენტების ვალიდაციას, ღრმად ანალიზებდნენ მონაცემებს და კრიტიკულად აფასებდნენ შეზღუდვებს.

მეთოდოლოგიის აღწერითი წარმოდგენის დომინირება (65%) წარმოადგენს მნიშვნელოვან გამოწვევას. სენდელოვსკი (2010) ხაზს უსვამს, რომ მეთოდოლოგიის სექცია არ უნდა წარმოაჩენდეს მხოლოდ "რას და როგორ", არამედ უნდა იკვეთებოდეს "რატომ" - უნდა ხდებოდეს მეთოდოლოგიური გადაწყვეტილებების რაციონალობისა და ლოგიკის განხილვა. როდესაც სტუდენტი უბრალოდ აღწერს მეთოდოლოგიას, ეს შეიძლება მიუთითებდეს მექანიკურ მიდგომაზე კვლევისადმი, მეთოდოლოგიური არჩევანის ფილოსოფიური საფუძვლების არასაკმარის გააზრებაზე. მეთოდოლოგიის ანალიტიკური წარმოდგენა, აჩვენებს, რომ სტუდენტს ღრმად ესმის კვლევის დიზაინის ლოგიკა, შეუძლია დაასაბუთოს მეთოდოლოგიური არჩევანი, აცნობიერებს როგორც არჩეული მეთოდის პოტენციალს, ისე შეზღუდვებს და ფლობს მეტაკოგნიტურ უნარებს - უნარს, დაფიქრდეს საკუთარი კვლევითი პროცესის შესახებ.

შეზღუდვების არარსებობა ან ზოგადი მითითება ნაშრომში წარმოადგენს სერიოზულ გამოწვევას. პრაისი და მურნანი (2004) აღნიშნავენ, რომ შეზღუდვების აღიარება არის სამეცნიერო პატიოსანების გამოხატულება, კრიტიკული თვითშეფასების უნარის მაჩვენებელი და კვლევის კონტექსტუალიზაციის ინსტრუმენტი. იმ ნაშრომებში, სადაც შეზღუდვები კრიტიკულად არის განხილული, ჩანს სამი მნიშვნელოვანი ელემენტი: სპეციფიკურობა (კონკრეტული იდენტიფიკაცია), იმპლიკაციების ანალიზი (როგორ გავლენას ახდენს შეზღუდვები შედეგების ინტერპრეტაციაზე) და პერსპექტივა (რა შეიძლებოდა გაკეთებულიყო განსხვავებულად და რა რეკომენდაციები არის მომავალი კვლევებისთვის).

ინსტრუმენტების ვალიდაციის არარსებობა ნაშრომში წარმოადგენს სერიოზულ მეთოდოლოგიურ გამოწვევას. ფილდი (2018) და დევერი (2016) ხაზს უსვამენ, რომ ინსტრუმენტის ხარისხი პირდაპირ განსაზღვრავს კვლევის შედეგების სანდოობას და ვალიდურობას. კვლევითი ინსტრუმენტი არის "სათვალე", რომლის საშუალებითაც ვხედავთ საკვლევ რეალობას. ვალიდაციის არარსებობა შეიძლება აიხსნას რამდენიმე ფაქტორით: ცოდნის ნაკლებობით (სტუდენტები შესაძლოა არ იცნობენ ვალიდაციის პროცედურებს), რესურსების შეზღუდვით (ვალიდაცია მოითხოვს დროს, ექსპერტებს, პილოტირებას) და აღქმით (ვალიდაცია შეიძლება აღიქმებოდეს როგორც "სასურველი, მაგრამ არა აუცილებელი"). თუმცა პოზიტიური ტენდენციაა, რომ ეტაპობრივი მომზადების ფარგლებში სტუდენტები უფრო ხშირად ახორციელებენ ვალიდაციას, რაც მიუთითებს, რომ სწორი განათლებით და მხარდაჭერით ეს პრობლემა გადასაჭრელია.

წინამდებარე კვლევამ სისტემატურად გააანალიზა 40 სამაგისტრო ნაშრომი განათლების მეცნიერებების სფეროდან, რის შედეგადაც გამოიკვეთა როგორც მნიშვნელოვანი გამოწვევები, ისე დამაჯერებელი საუკეთესო პრაქტიკის მაგალითები. კვლევის ყველაზე მნიშვნელოვანი აღმოჩენა არის, რომ სისტემატური, ეტაპობრივი მომზადება მნიშვნელოვნად აუმჯობესებს

სამაგისტრო ნაშრომების ხარისხს თითქმის ყველა მეთოდოლოგიურ განზომილებაში. ეს მიგნება ადასტურებს საერთაშორისო ლიტერატურის დასკვნებს და უსვამს ხაზს ინვესტიციის მნიშვნელობას სტუდენტთა კვლევითი კომპეტენციების თანმიმდევრულ, სისტემატურ განვითარებაში.

კვლევამ ასევე გამოკვეთა მნიშვნელოვანი რაოდენობა ნაშრომებისა (27.5%), რომლებიც აკმაყოფილებენ მაღალ საერთაშორისო სტანდარტებს და წარმოადგენენ საუკეთესო პრაქტიკის მაგალითებს: ინსტრუმენტების სისტემატური შემუშავება და ვალიდაცია, შერეული მეთოდების რეალური ინტეგრაცია, ღრმა, მრავალდონიანი თვისებრივი ანალიზი, მეთოდოლოგიის ანალიტიკური დასაბუთება და შეზღუდვების კრიტიკული რეფლექსია. ეს მაგალითები აჩვენებს, რომ მაღალი ხარისხი არის მიღწევადი არსებულ პირობებშიც და წარმოადგენს მოდელს სხვა სტუდენტებისა და პროგრამებისთვის.

მიუხედავად პოზიტიური მაგალითებისა, კვლევამ გამოავლინა გარკვეული სისტემური გამოწვევები: მეთოდოლოგიის აღწერითი წარმოდგენა (65%), შეზღუდვების არასაკმარისი რეფლექსია (70%), ინსტრუმენტების ვალიდაციის ნაკლებობა (42.5%), კვლევის ობიექტის შერჩევის არასაკმარისი დასაბუთება (60%) და ლიტერატურისა და ემპირიული კვლევის სუსტი ინტეგრაცია (55%).

კვლევა აფართოებს არსებულ ლიტერატურას სამაგისტრო ნაშრომების ხარისხის შესახებ რამდენიმე მნიშვნელოვანი მიმართულებით. იგი უზრუნველყოფს ემპირიულ მხარდაჭერას ვისკერის (2012) და პალტრიჯისა და სტარფილდის (2007) თეორიულ მოდელს კვლევითი კომპეტენციების ეტაპობრივი განვითარების შესახებ და აჩვენებს არა მხოლოდ იმას, რომ ეტაპობრივი მიდგომა არის ეფექტური, არამედ აკონკრეტებს, რომელ სპეციფიკურ განზომილებებში ხდება გაუმჯობესება. მეორე, კვლევას შემოაქვს კონცეპტუალური განსხვავება მეთოდოლოგიის აღწერით და ანალიტიკურ წარმოდგენას შორის, რაც აქამდე არ იყო ექსპლიციტურად კონცეპტუალიზებული ლიტერატურაში. ამასთან კვლევა ამყარებს და აფართოებს პრაიისა და მურნანის (2004) და როსისა და ბიგის (2012) შრომებს შეზღუდვების რეფლექსიის მნიშვნელობაზე და აჩვენებს, რომ შეზღუდვების კრიტიკული განხილვა არის არა მხოლოდ სამეცნიერო პატიოსნების მაჩვენებელი, არამედ მეტაკოგნიტური განვითარების და კრიტიკული აზროვნების ინდიკატორი.

კვლევა ფლობს რამდენიმე შეზღუდვას. პირველი შეზღუდვა ეხება ნიმუშის ზომას და რეპრეზენტატიულობას - 40 ნაშრომი საშუალებას იძლევა გამოიკვეთოს ძირითადი ტენდენციები, თუმცა არ იძლევა საქართველოს ყველა უნივერსიტეტის სრულად წარმოჩენის შესაძლებლობას და მოიცავს მხოლოდ განათლების მეცნიერებების მიმართულებას.

კვლევა ეფუძნება მხოლოდ დოკუმენტურ ანალიზს, ხოლო პირდაპირი ინტერვიუები სტუდენტებთან, ხელმძღვანელებთან და ადმინისტრატორებთან მოგვცემდა უფრო სრულ სურათს.

კვლევა ანალიზს უკეთებს 2016-2024 წლების ნაშრომებს, მაგრამ არ ადევნებს თვალყურს დინამიურ ცვლილებებს დროთა განმავლობაში, რაც ზღუდავს დასკვნების გამოტანის შესაძლებლობას ცვლილებებთან მიმართებაში.

5. დასკვნა.

სამაგისტრო ნაშრომი წარმოადგენს არა მხოლოდ აკადემიური კვალიფიკაციის მოპოვების ფორმალურ მოთხოვნას, არამედ კრიტიკულ განვითარების მომენტს მომავალი პროფესიონალებისა და მკვლევარებისთვის. ეს არის პროცესი, რომელიც აყალიბებს კრიტიკული

აზროვნების, სისტემატური ანალიზის და ცოდნის გენერირების უნარებს - უნარებს, რომლებიც სასიცოცხლოდ მნიშვნელოვანია ოცდამეერთე საუკუნის კომპლექსურ, ცვლად სამყაროში.

ამ კონტექსტში, სამაგისტრო ნაშრომების ხარისხის გაუმჯობესება არის ინვესტიცია არა მხოლოდ ინდივიდუალური სტუდენტების განვითარებაში, არამედ საზოგადოების უფრო ფართო პოტენციალში - განათლების სისტემაში, რომელიც ქმნის პრაქტიკოსებს, პედაგოგებს და ლიდერებს, რომლებიც შეძლებენ კრიტიკულად შეაფასონ ინფორმაცია, სისტემატურად გამოიკვლიონ პრობლემები და გააკეთონ ინფორმირებული, გააზრებული გადაწყვეტილებები.

წინამდებარე კვლევამ აჩვენა, რომ მაღალი ხარისხი არის მიღწევადი და რომ არსებობს კონკრეტული, რეალიზებადი გზები მის მისაღწევად. ეტაპობრივი, სისტემატური მიდგომა კვლევითი კომპეტენციების განვითარებისადმი იძლევა ძლიერ პოზიტიურ შედეგებს. საუკეთესო პრაქტიკის მაგალითები აჩვენებს, რომ ქართველ მაგისტრანტებს შეუძლიათ შექმნან ნაშრომები, რომლებიც აკმაყოფილებენ მაღალ საერთაშორისო სტანდარტებს.

გამოწვევა მდგომარეობს ამ მიდგომებისა და პრაქტიკების ფართო მასშტაბით გავრცელებაში.

რეკომენდაციები:

კვლევის შედეგების საფუძველზე მნიშვნელოვანია, მაგისტრატურის პროგრამებში გაძლიერდეს ეტაპობრივი, თანმიმდევრული კვლევითი მომზადება.

საყურადღებოა კვლევითი წინადადების სავალდებლო დამტკიცება - სამაგისტრო ნაშრომის დაწყებამდე დაინერგოს კვლევითი წინადადების სისტემა, რომელიც მოიცავს საკვლევი პრობლემის ფორმულირებას და დასაბუთებას, ლიტერატურის მიმოხილვას, კვლევის მიზნებს და საკვლევ კითხვებს, თეორიულ ჩარჩოს, დეტალურ მეთოდოლოგიას და მოსალოდნელ წვლილს. წინადადება უნდა განიხილოს დეპარტამენტმა და დეტალური წერილობითი უკუკავშირი უნდა მიეცეს სტუდენტს.

მნიშვნელოვანია სამაგისტრო ნაშრომის სტანდარტიზებული შეფასების რუბრიკის შემუშავება, სადაც მეთოდოლოგიური კომპონენტი შეადგენს 30-40% საერთო შეფასებისა და დადგენილია სტანდარტები ინსტრუმენტების ვალიდაციის, შეზღუდვების კრიტიკული განხილვისა და მეთოდოლოგიის ანალიტიკური დასაბუთებისთვის.

ყურადსაღებია კვლევითი მხარდაჭერის სერვისების შექმნა - სასარგებლოა, უსდ-ებში შეიქმნას კვლევითი მხარდაჭერის ცენტრები, რომლებიც შესთავაზებენ სტუდენტებს მეთოდოლოგიურ კონსულტაციებს, სტატისტიკური (ასისტენტი სტატისტიკური ანალიზისთვის) და თვისებრივი კვლევის მხარდაჭერას (ტრენინგები NVivo, MAXQDA-ზე).

რეკომენდირებულია ღია ხელმისაწვდომობისთვის ელექტრონული არქივის შექმნა და ყველა სამაგისტრო ნაშრომის საჯარო განთავსებას (ავტორის თანხმობით), ამასთან, მაღალი ხარისხის ნაშრომების სპეციალური გამოყოფა, როგორც "საუკეთესო პრაქტიკის მაგალითები", რაც ხელს შეუწყობს სტუდენტებს მაღალი ხარისხის მოდელების ნახვაში.

აუცილებელია კვლევითი კულტურის განვითარება - სემესტრული კვლევითი კოლოკვიუმების ორგანიზება, ყოველწლიური სტუდენტური კვლევითი კონფერენციის ორგანიზება და პუბლიკაციის წახალისება.

საყურადღებოა:

სტუდენტებში მეთოდოლოგიური განათლების გაღრმავება - დამატებითი რესურსების გამოყენება (ონლაინ კურსები, ტუტორიალები), პროგრამული უნარების განვითარება (სტატისტიკური და თვისებრივი ანალიზის პროგრამების დაუფლება).

სტუდენტთა კვლევითი ჯგუფების შექმნა (სამიდან ხუთ სტუდენტამდე), რომლებიც რეგულარულად შეიკრიბებიან იდეების გასაზიარებლად და ერთმანეთის ნაშრომების კონსტრუქციული კრიტიკისთვის.

სტუდენტებისთვის კვლევითი ჟურნალის წარმოება, სადაც რეგულარულად დაფიქსირდება კვლევით პროცესზე ფიქრები, გადაწყვეტილებები და გამოწვევები.

აუცილებელია სტრუქტურირებული სამეცნიერო ხელმძღვანელობა - მკაფიო მოლოდინები და გრაფიკი, დაგეგმილი შეხვედრები კონკრეტული დღის წესრიგით და წერილობითი უკუკავშირით დრაფტებზე.

საყურადღებოა კვლევის დიზაინის ეტაპზე აქტიური ჩართვა, დახმარება საკვლევი პრობლემის დაზუსტებაში, მეთოდოლოგიური არჩევანის კრიტიკული განხილვა და ინსტრუმენტების შემუშავებაში კონსულტაცია. ამასთან, კრიტიკული რეფლექსიის ხელშეწყობა - შეზღუდვების განხილვის წახალისება. მაგალითების მიცემა შეზღუდვების რეფლექსიის საუკეთესო პრაქტიკიდან და მეთოდოლოგიური დასაბუთების მოთხოვნა.

სასარგებლოა მეთოდოლოგიური ვორქშოპების ორგანიზება, რეგულარული ტრენინგები თანამედროვე კვლევის მეთოდებზე და პრაქტიკული სესიები ანალიზის პროგრამების გამოყენებაზე; რეგიონალური კოლაბორაცია - უნივერსიტეტებს შორის კოორდინაცია, რესურსების გაზიარება (მონაცემთა ბაზები, პროგრამული უზრუნველყოფა), საერთო კვლევითი კონფერენციების ორგანიზება და ექსპერტიზის გაზიარება. რეგიონალური კვლევითი ქსელების შექმნა და რეგიონალური სამეცნიერო ჟურნალის დაარსება სტუდენტური კვლევებისთვის.

ბიბლიოგრაფია:

- Braun, V., & Clarke, V. (2006). Using thematic analysis in psychology. *Qualitative Research in Psychology*, 3(2), 77-101.
- Bryman, A. (2016). *Social research methods* (5th ed.). Oxford: Oxford University Press.
- Cohen, L., Manion, L., & Morrison, K. (2018). *Research methods in education* (8th ed.). London: Routledge.
- Creswell, J. W. (2014). *Research design: Qualitative, quantitative, and mixed methods approaches* (4th ed.). Thousand Oaks, CA: SAGE Publications.
- Creswell, J. W., & Creswell, J. D. (2018). *Research design: Qualitative, quantitative, and mixed methods approaches* (5th ed.). Thousand Oaks, CA: SAGE Publications.
- Field, A. (2018). *Discovering statistics using IBM SPSS Statistics* (5th ed.). London: SAGE Publications.
- Flick, U. (2018). *An introduction to qualitative research* (6th ed.). London: SAGE Publications.
- Miles, M. B., Huberman, A. M., & Saldaña, J. (2014). *Qualitative data analysis: A methods sourcebook* (3rd ed.). Thousand Oaks, CA: SAGE Publications.
- Paltridge, B., & Starfield, S. (2007). *Thesis and dissertation writing in a second language*. London: Routledge.
- Price, J. H., & Murnan, J. (2004). Research limitations and the necessity of reporting them. *American Journal of Health Education*, 35(2), 66-67.
- Sandelowski, M. (2010). What's in a name? Qualitative description revisited. *Research in Nursing & Health*, 33(1), 77-84.
- Wisker, G. (2012). *The good supervisor: Supervising postgraduate and undergraduate research for doctoral theses and dissertations* (2nd ed.). Basingstoke: Palgrave Macmillan.

Methodological Aspects of Master's Research: Challenges and Best Practices

Marine Gurgenedze, Nani Mamuladze, Ana Okropiridze

Batumi Shota Rustaveli State University

marine.gurgenedze@bsu.edu.ge, n.mamuladze@bsu.edu.ge

Abstract

The present study aims to assess the quality of the methodology used in master's theses, identify both challenges and best practices, and develop practical recommendations. The analysis is based on a documentary study of 40 master's theses (Educational Sciences, 2016–2024), which combines both quantitative and qualitative approaches.

The study revealed that the systematic, stage-by-stage development of students' research competencies significantly improves the quality of master's theses. Programs that include sequential courses in academic writing, research methods, and research practice are more likely to enable students to better formulate research problems in their papers, analytically communicate methodology, and provide in-depth interpretations of results. The study also identified clear systemic challenges: insufficient reflection on research limitations in some papers, descriptive presentation of methodology, and insufficient justification of research object selection strategies. The paper presents comprehensive recommendations and examples of best practices aimed at further enhancing research quality.

Keywords: Master's thesis, research methodology, research competencies, quality assurance

ინფორმაციული სისტემების რისკების ანალიზი და კონტროლი საგამოცდო ლაბორატორიებში

თამარ წერეთელი, ნონა ოთხოზორია, დავით კაპანაძე

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

t.tsereteli@gtu.ge, n.otkhozoria@gtu.ge, david@gtu.ge

რეზიუმე

სტატიაში განხილულია ISO/IEC 17025 სტანდარტით აკრედიტებული ლაბორატორიების ინფორმაციული სისტემების რისკების ანალიზისა და კონტროლის თანამედროვე მიდგომები. განსაკუთრებული ყურადღება გამახვილებულია ტრანსფორმატორების ელექტრული მახასიათებლების გაზომვებთან დაკავშირებულ მონაცემთა სანდოობაზე, რომლის დარღვევაც ენერგოსექტორის უსაფრთხოებასა და ეკონომიკურ მდგრადობაზე მნიშვნელოვან გავლენას ახდენს. კვლევის სიახლე მდგომარეობს ინტეგრირებულ მოდელში, რომელიც აერთიანებს საერთაშორისო სტანდარტებს (ISO/IEC 27001, ISO/IEC 17025, NIST, ENISA), მათემატიკურ-მოდელირების მეთოდებს (ბაიესის ქსელი, შეუსაბამობათა ხის ანალიზი (FTA), მონტე-კარლოს სიმულაცია) და უსაფრთხოების პრევენციულ და რეაქციულ მექანიზმებს (MFA, SIEM, სარეზერვო აღდგენის გეგმები). მიღებული შედეგები აჩვენებს, რომ შემოთავაზებული მოდელი მნიშვნელოვნად ამცირებს რისკების წარმოშობის ალბათობასა და პოტენციურ ეკონომიკურ ზარალს, ზრდის იდენტიფიცირებული საფრთხეების რაოდენობას და უზრუნველყოფს კრიტიკული მიზეზ-შედეგობრივი კავშირების უკეთ გააზრებას. წარმოდგენილი მიდგომა წარმოადგენს ეფექტიან ინსტრუმენტს აკრედიტებული ლაბორატორიების ინფორმაციული სისტემების მდგრადობისა და უსაფრთხოების გასაუმჯობესებლად.

საკვანძო სიტყვები: ინფორმაციული სისტემები, რისკების ანალიზი, რისკების კონტროლი, ISO/IEC 17025, ISO/IEC 27001

1. შესავალი.

ინფორმაციული სისტემების უსაფრთხოება თანამედროვე ციფრულ ეპოქაში წარმოადგენს ერთ-ერთ უმნიშვნელოვანეს გამოწვევას როგორც კერძო კომპანიებისთვის, ასევე სახელმწიფო სექტორისთვის. ციფრული ტრანსფორმაციის პროცესმა მნიშვნელოვნად გაზარდა ორგანიზაციებში არსებული მონაცემთა ნაკადების მოცულობა, მათი სენსიტიურობა და ღირებულება, რის გამოც იზრდება კიბერთავდასხმების, ტექნიკური ავარიების და ინფორმაციის გაუმართავი მართვის რისკები.

განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია ეს საკითხი აკრედიტებულ საგამოცდო ლაბორატორიებში, რომლებიც მუშაობენ ISO/IEC 17025 სტანდარტის მიხედვით. აღნიშნული ლაბორატორიები უზრუნველყოფენ საკონტროლო და საზომი პროცესების სანდოობას, რომელთა შედეგებზე დაფუძნებით ხდება მრავალი ტექნიკური და ეკონომიკური გადაწყვეტილების მიღება. განსაკუთრებული ყურადღება გვინდა გავამახვილოთ ტრანსფორმატორების ელექტრული მახასიათებლების გაზომვებთან დაკავშირებულ მონაცემთა სანდოობაზე, რომლის დარღვევაც ენერგოსექტორის უსაფრთხოებასა და ეკონომიკურ მდგრადობაზე მნიშვნელოვან გავლენას ახდენს. ტრანსფორმატორების ტესტირებისას გაზომილი პარამეტრები - უქმი სვლის დანაკარგები, გრაგნილების იზოლაციის წინააღობა, გრაგნილების წინააღობა მუდმივი დენის მიმართ, დიელექტრიკული დანაკარგების კუთხე და ტრანსფორმაციის

კოეფიციენტი - წარმოადგენს კრიტიკულ ინფორმაციას ენერგეტიკული ინფრასტრუქტურის მდგრადობისთვის. ამ მონაცემების დაკარგვა, შეცვლა ან არასწორი ინტერპრეტაცია შეიძლება გახდეს მნიშვნელოვანი ეკონომიკური ზარალისა და ენერგოსისტემების ავარიების მიზეზი.

ამიტომ, ინფორმაციული სისტემების რისკების ანალიზი და კონტროლის თანამედროვე მეთოდების გამოყენება ლაბორატორიებში არა მხოლოდ აკრედიტაციის მოთხოვნების დაკმაყოფილების მიზნით არის აუცილებელი, არამედ ენერგოსექტორის ზოგადი საიმედოობისა და ქვეყნის ენერგეტიკული უსაფრთხოების დაცვის სტრატეგიული კომპონენტიც. აღნიშნული კვლევა სწორედ ამ საჭიროებას პასუხობს და მიზნად ისახავს ისეთი მეთოდებისა და საშუალებების წარმოჩენას, რომლებიც გააძლიერებს ISO/IEC 17025 სტანდარტით აკრედიტებული ლაბორატორიების ინფორმაციული სისტემების მდგრადობას, უსაფრთხოებასა და ეფექტიანობას.

კვლევის მიზანია საგამოცდო ლაბორატორიებში (ISO/IEC 17025-ის მიხედვით აკრედიტებულებში) ინფორმაციული სისტემების რისკების ანალიზისა და კონტროლის თანამედროვე მეთოდების შესწავლა და მოდელირება, კვლევა აქცენტირებულია ისეთ ლაბორატორიებზე, რომლებიც ახორციელებენ ტრანსფორმატორების ელექტრული მახასიათებლების გაზომვებს.

2. ლიტერატურული მიმოხილვა.

ინფორმაციული სისტემების რისკების ანალიზისა და კონტროლის თანამედროვე მიდგომები ბოლო ათწლეულებში მნიშვნელოვნად განვითარდა, რაც კიბერსაფრთხეების ზრდამ, მონაცემთა მოცულობის მატებამ და სისტემების რთულმა ინტეგრაციამ განაპირობა. როგორც ISO/IEC 27001 სტანდარტი მიუთითებს, ინფორმაციული უსაფრთხოების მართვა უნდა ეფუძნებოდეს რისკებზე ორიენტირებულ მიდგომას, სადაც თითოეული აქტივი შეფასებულია მისი ღირებულებისა და შესაძლო ზარალის თვალსაზრისით (ISO, 2022a). ამ მიდგომას ადასტურებს NIST Cybersecurity Framework-იც, რომელიც ხაზს უსვამს საფრთხეების იდენტიფიკაციის, დაცვის, აღმოჩენის, რეაგირების და აღდგენის ციკლურ მოდელს (NIST, 2018).

ENISA-ს ბოლო ანგარიშებში განსაკუთრებული ყურადღება ეთმობა კრიტიკული ინფრასტრუქტურის (Critical Infrastructures) რისკების მართვას, სადაც ენერგოსექტორი ერთ-ერთ ყველაზე მოწყვლად სფეროდ არის მიჩნეული (ENISA, 2023). კვლევები მიუთითებს, რომ ენერგეტიკული სისტემების უსაფრთხოებაზე პირდაპირ გავლენას ახდენს საზომი და საკონტროლო ლაბორატორიების მიერ მოწოდებული მონაცემების სანდოობა, რაც ISO/IEC 17025 სტანდარტით აკრედიტებულ გარემოში ინფორმაციული რისკების მართვის განსაკუთრებულ მნიშვნელობას უსვამს ხაზს.

თანამედროვე სამეცნიერო ლიტერატურა რისკების მოდელირებისა და ანალიზის სხვადასხვა მეთოდს გამოყოფს. მაგალითად, ბაიესის ქსელები გამოიყენება კომპლექსურ სისტემებში რისკების ურთიერთდამოკიდებულების შესაფასებლად (Fenton & Neil, 2019), ხოლო მონტე-კარლოს სიმულაცია ხშირად გამოიყენება ალბათური სცენარების მოდელირებისთვის, რაც შესაძლებელს ხდის რისკის დონის რაოდენობრივ შეფასებას (Hubbard & Evans, 2010). FMEA (Failure Mode and Effect Analysis), რომელიც წარმოებისა და ინჟინერიაშია გავრცელებული, ეფექტიანად გამოიყენება ინფორმაციული სისტემების სუსტი წერტილების იდენტიფიკაციისთვისაც (Stamatis, 2003).

ბოლო წლებში ჩნდება მიდგომები, სადაც ხელოვნური ინტელექტი (AI) და მანქანური სწავლება (ML) გამოიყენება კიბერსაფრთხეების პროგნოზირებისა და რეალურ დროში

ანომალიების აღმოჩენისათვის (Sarker et al., 2021). ასეთი მიდგომები განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია აკრედიტებულ ლაბორატორიებში, სადაც მონაცემთა ხარისხი და სანდოობა პირდაპირ განსაზღვრავს კრიტიკული ტექნიკური გადაწყვეტილებების მიღებას.

ამრიგად, არსებული ლიტერატურა აჩვენებს, რომ ინფორმაციული რისკების მართვა უნდა ეფუძნებოდეს ინტეგრირებულ მიდგომას: სტანდარტებზე დაფუძნებულ ჩარჩოებს (ISO/IEC 27001, NIST, ENISA), მათემატიკურ და სტატისტიკურ მოდელებს და ინოვაციურ ტექნოლოგიურ გადაწყვეტილებებს. ასეთი კომბინაცია უზრუნველყოფს ინფორმაციული სისტემების მდგრადობას და მათ ეფექტიან გამოყენებას ISO/IEC 17025 აკრედიტებულ ლაბორატორიებში.

3. მეთოდოლოგია.

ინფორმაციული სისტემების რისკების ანალიზისა და კონტროლის მეთოდოლოგია დაფუძნებულია სტრუქტურირებულ და ეტაპობრივ მიდგომაზე, რომელიც აერთიანებს როგორც სტანდარტიზებულ ჩარჩოებს, ასევე მათემატიკურ-მოდელოების მეთოდებს.

კვლევაში გამოყენებულია შემდეგი ძირითადი ეტაპები (ნახ.1):



ნახ. 1 ინფორმაციული სისტემების რისკების ანალიზისა და კონტროლის მეთოდები

1. რისკების იდენტიფიკაცია - პირველ ეტაპზე ხდება კრიტიკული აქტივების იდენტიფიკაცია ISO/IEC 17025 აკრედიტებულ ლაბორატორიებში. აქ განსაკუთრებული ყურადღება ეთმობა გაზომვის პროცესში გამოყენებულ მოწყობილობებს, მონაცემთა ბაზებს, პროგრამულ უზრუნველყოფას და პერსონალის საქმიანობას. იდენტიფიკაციისას გამოიყენება აქტივების აღრიცხვის და საფრთხის მოდელირების მეთოდები, რომლებიც უზრუნველყოფენ როგორც ტექნიკური, ისე ორგანიზაციული საფრთხეების ჩამონათვალს.
2. რისკების შეფასება - საფრთხეების გამოვლენის შემდეგ ეტაპზე ხდება მათი შეფასება. შეფასება ორ დონეზე ხორციელდება:
 - თვისებრივი შეფასება (Qualitative Assessment), სადაც გამოიყენება ISO 27005 რისკების მატრიცა - ალბათობა და ზემოქმედება ფასდება დაბალი, საშუალო და მაღალი დონეებით.
 - რაოდენობრივი შეფასება (Quantitative Assessment), სადაც გამოიყენება მონტე კარლოს სხვადასხვა სცენარები მოდელირებისთვის, რაც იძლევა რისკის გავრცელების ალბათურ განაწილებას. ეს მეთოდი განსაკუთრებით ეფექტურია ელექტრული პარამეტრების გაზომვისას, სადაც მცირე შეცდომაც კი შეიძლება სერიოზულ ზარალად გადაიქცეს.
3. რისკების კონტროლი და შემცირება - შეფასების შემდეგ შემუშავდება კონტროლის ღონისძიებები, რომლებიც მოიცავს:
 - პრევენციულ ზომებს – ქსელის სეგმენტაცია, მრავალფაქტორიანი აუთენტიფიკაცია (MFA), მონაცემთა დაკარგვის პრევენცია (DLP), პერსონალის ტრენინგი.
 - რეაქციულ ზომებს – SIEM სისტემებით მონიტორინგი, ინციდენტებზე სწრაფი რეაგირების პროცედურები, მონაცემთა აღდგენის სარეზერვო გეგმები. ორივე ტიპის მექანიზმი ინტეგრირდება ერთიან მრავალდონიან მოდელში, რომელიც უზრუნ-

ველყოფს როგორც ინციდენტის თავიდან აცილებას, ისე მისი შედეგების მინიმიზაციას.

4. მოდელირება და სცენარების ანალიზი - რისკების მოდელირებისათვის გამოყენებულია ორი მეთოდი:

- ბაიესის ქსელები, რომელიც აჩვენებს რისკებს შორის ურთიერთდამოკიდებულებას (მაგ., აპარატურული გაუმართაობა ↔ მონაცემთა დაკარგვა ↔ შეცდომაში შემყვანი ტექნიკური გადაწყვეტილება).
- შეუსაბამობათა ხის ანალიზი (FTA), რომელიც გამოიყენება კრიტიკული ინციდენტების ძირეული მიზეზების იდენტიფიცირებისთვის.

5. ვალიდაცია და შედეგების ანალიზი - შემუშავებული მოდელი ტესტირებულია ლაბორატორიებზე, რომლებიც ახორციელებენ ტრანსფორმატორების ელექტრული მახასიათებლების გაზომვას. თითოეულ სცენარში შეფასებულია, თუ რამდენად ამცირებს მრავალდონიანი მიდგომა ინციდენტების ალბათობასა და პოტენციურ ზარალს.

4. კვლევითი ნაწილი.

კვლევა განხორციელდა შემოთავაზებული მეთოდოლოგიის შესაბამისად. პირველ რიგში, გამოვიყენეთ ISO/IEC 27005 რისკების მატრიცა, რომლის საშუალებითაც საფრთხეები ხარისხობრივად დავახარისხეთ მათი ალბათობისა და ზემოქმედების მიხედვით. ეს ეტაპი გვადლევდა საწყის სურათს, რომელი რისკები იყო კრიტიკული და სად იყო საჭირო უფრო სიღრმისეული ანალიზი.

შემდეგ ეტაპზე გადავედით რაოდენობრივ შეფასებაზე. ამ მიზნით ჩავატარეთ მონტე-კარლოს სიმულაცია, რომლის ფარგლებშიც განვახორციელეთ ასობით სცენარის გენერაცია. სიმულაციამ აჩვენა, როგორ შეიძლება სხვადასხვა პირობებში შეცვლილიყო ინციდენტის წარმოშობის ალბათობა და მასთან დაკავშირებული ეკონომიკური ზარალი. მიღებული შედეგები გვადლევდა რისკების ალბათური პროფილის უფრო ზუსტ შეფასებას.

რისკებს შორის დამოკიდებულებისა და პირობითი ალბათობების დასადგენად გამოვიყენეთ ბაიესის ქსელები, FTA-ს გამოყენებით კი დეტალურად დავაშალეთ კრიტიკული ინციდენტები და გამოვაკვლიეთ მათი ძირეული მიზეზები.

FTA-მ ნათლად აჩვენა, რომ ერთი ძირითადი ინციდენტი შეიძლება სხვადასხვა მცირე ხარვეზის კომბინაციამ გამოიწვიოს ასევე მოგვცა საშუალება დეტალურად დავგვენახა, რა ძირეული მიზეზები იწვევდა კრიტიკულ ინციდენტებს. აღმოჩნდა, რომ ყველაზე ხშირი სცენარები დაკავშირებული იყო აპარატურულ ხარვეზებთან და ადამიანურ შეცდომებთან, რომლებიც ხშირად ერთიანად ქმნიდნენ კრიტიკულ სიტუაციას. ბაიესის ქსელებმა დაგვანახა, როგორ იზრდებოდა ერთი რისკის ალბათობა სხვების გავლენის ქვეშ. მაგალითად, მოწყობილობის ავარიული გამორთვა მნიშვნელოვნად ზრდიდა მონაცემთა დაკარგვის ალბათობას და, შესაბამისად, არასწორი ტექნიკური დასკვნის რისკიც იზრდებოდა.

5. შედეგები და დისკუსია.

კვლევის ფარგლებში შემუშავებული რისკების ანალიზისა და კონტროლის მოდელი აპრობირებული იქნა ISO/IEC 17025 აკრედიტებულ ლაბორატორიებში, რომლებიც ახორციელებენ ტრანსფორმატორების ელექტრული მახასიათებლების ტესტირებას. შედეგების ანალიზმა აჩვენა, რომ მრავალდონიანი (multilayered) მიდგომა მნიშვნელოვნად ამცირებს როგორც კრიტიკული ინციდენტების წარმოშობის ალბათობას, ისე პოტენციურ ეკონომიკურ ზარალს.

ცხრილი 1 ასახავს ტრადიციული მეთოდებისა და შემოთავაზებული მოდელის შედარებით ანალიზს

ცხრილი 1. რისკების მართვის ეფექტიანობის შედარება

მიდგომა	იდენტიფიცირებული საფრთხეების საშუალო რაოდენობა	ინციდენტების საშუალო ალბათობა	ეკონომიკური ზარალის შეფასება
ტრადიციული მიდგომა	12	0.35	მაღალი
შემოთავაზებული მოდელი	20+	0.15	დაბალი

როგორც ცხრილიდან ჩანს, შემოთავაზებულმა მოდელმა მნიშვნელოვნად გაზარდა იდენტიფიცირებული საფრთხეების რაოდენობა (აქტივების ნუსხა + მოდელირება ინტეგრირებული გამოყენებით), რითაც შესაძლებელი გახდა უფრო რეალისტური რისკის შეფასება.

ბაიესის ქსელებისა და შეუსაბამობათა ხის ანალიზის გამოყენებამ შესაძლებელი გახადა რისკებს შორის მიზეზ-შედეგობრივი კავშირების იდენტიფიცირება, რაც ტრადიციულ მეთოდებში ნაკლებად იყო შესაძლებელი. მონტე-კარლოს სიმულაციამ კი უზრუნველყო რისკის რაოდენობრივი გავრცელების უფრო ზუსტი პროგნოზირება, განსაკუთრებით იმ სცენარებში, სადაც მცირე სიზუსტის დაკარგვაც კი ენერგოსისტემისთვის კრიტიკული შედეგის გამოძწვევი შეიძლება ყოფილიყო.

გარდა ამისა, ჩატარებულმა მოდელირებამ ცხადყო, რომ პრევენციული და რეაქციული ზომების ერთობლივი ინტეგრაცია (მაგ., MFA, SIEM, სარეზერვო აღდგენის გეგმები) უზრუნველყოფს უფრო მაღალ უსაფრთხოებას, ვიდრე მხოლოდ ერთი ტიპის მექანიზმის გამოყენება.

მიღებული შედეგები ცხადყოფს, რომ შემოთავაზებული მიდგომა არა მხოლოდ თეორიულად გამართლებულია, არამედ პრაქტიკულადაც ამცირებს ლაბორატორიების რისკებს და ზრდის ენერგოსექტორის საერთო საიმედოობას, რაც იძლევა საფუძველს საბოლოო დასკვნების გამოტანისათვის.

6. დასკვნა.

კვლევამ აჩვენა, რომ ინფორმაციული სისტემების რისკების ანალიზისა და კონტროლის თანამედროვე მეთოდების ინტეგრირებული გამოყენება მნიშვნელოვან გავლენას ახდენს ISO/IEC 17025 აკრედიტებული ლაბორატორიების უსაფრთხოებასა და სანდოობაზე.

მთავარი შედეგები:

- შემოთავაზებულმა მოდელმა გააუმჯობესა რისკების იდენტიფიკაცია და რაოდენობრივი შეფასება;
- რისკების წარმოშობის ალბათობა შემცირდა თითქმის ორჯერ, რაც ეკონომიკური ზარალის დონეს მნიშვნელოვნად დაბლა სწევს;
- ბაიესის ქსელებისა და შეუსაბამობათა ხის ანალიზის მეთოდების ინტეგრაციამ შესაძლებელი გახადა კრიტიკული მიზეზ-შედეგობრივი კავშირების იდენტიფიცირება;
- პრევენციული და რეაქციული კონტროლის ზომების ერთიან მოდელში გაერთიანებამ უზრუნველყო უფრო მაღალი მდგრადობა და უსაფრთხოება.

კვლევის მეცნიერული სიახლე მდგომარეობს იმაში, რომ შემუშავებულია ერთიანი მოდელი, რომელიც აერთიანებს საერთაშორისო სტანდარტებს (ISO/IEC 27001, ISO/IEC 17025,

NIST, ENISA), მათემატიკურ მოდელირებასა და თანამედროვე ტექნოლოგიურ ინსტრუმენტებს.

მომავალი კვლევის მიმართულებები შეიძლება მოიცავდეს ხელოვნური ინტელექტისა და მანქანური სწავლების ალგორითმების უფრო ღრმა ინტეგრაციას, IoT მოწყობილობების უსაფრთხოების სპეციალიზებულ მოდელირებას და დიდი მონაცემების ანალიტიკის გამოყენებას რისკების პროგნოზირებისთვის.

გამოყენებული ლიტერატურა:

1. ENISA. (2023). *Threat Landscape Report 2023*. European Union Agency for Cybersecurity.
2. Fenton, N., & Neil, M. (2019). *Risk Assessment and Decision Analysis with Bayesian Networks*. CRC Press.
3. Hubbard, D., & Evans, D. (2010). *Problems with scoring methods and Monte Carlo simulation*. Wiley.
4. ISO. (2022a). *ISO/IEC 27001: Information security management systems – Requirements*. International Organization for Standardization.
5. NIST. (2018). *Framework for Improving Critical Infrastructure Cybersecurity*. National Institute of Standards and Technology.
6. Sarker, I. H., et al. (2021). AI-driven cybersecurity: machine learning and deep learning for cyber threat intelligence. *Symmetry*, 13(2), 251.
7. Stamatis, D. H. (2003). *Failure Mode and Effect Analysis: FMEA from Theory to Execution*. ASQ Quality Press.

Information Systems Risk Analysis and Control in Testing Laboratories

Tamar Tsereteli, Nona Otkhзорia, David Kapanadze

Georgian Technical University

t_tsereteli@gtu.ge, n.otkhozoria@gtu.ge, david@gtu.ge

Abstract

The article examines modern approaches to the analysis and control of information system risks in ISO/IEC 17025 accredited laboratories. Particular attention is given to the reliability of measurement data related to transformer electrical parameters, the compromise of which can significantly impact the safety and economic stability of the energy sector. The novelty of the research lies in the development of an integrated model that combines international standards (ISO/IEC 27001, ISO/IEC 17025, NIST, ENISA), mathematical modeling methods (Bayesian networks, Fault Tree Analysis, Monte Carlo simulation), and both preventive and reactive security mechanisms (MFA, SIEM, backup recovery plans). The results demonstrate that the proposed model significantly reduces the probability of risk occurrence and potential economic loss, increases the number of identified threats, and provides deeper insight into critical cause-effect relationships. The presented approach offers an effective tool for enhancing the resilience and security of information systems in accredited laboratories.

Keywords : Information systems, Risk analysis, Risk control, ISO/IEC 17025, ISO/IEC 27001

დისტანციური ლაბორატორიული ექსპერიმენტის ტექნოლოგიის დანერგვის გამოცდილება

ლევან იმნაიშვილი*, მაგული ბედინეიშვილი*, მიხეილ დონაძე**

*საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი,

**ბათუმის შოთა რუსთაველის სახელმწიფო უნივერსიტეტი

l.imnaishvili@gtu.ge, m.bedineishvili@gtu.ge, mikheil.donadze@bsu.edu.ge

რეზიუმე

სამუშაო ეხება დისტანციური ექსპერიმენტის დანერგვას საინჟინრო სწავლებაში. ამ მიზნით გამოყენებულია ორიგინალური ტექნოლოგიური პლატფორმა დისტანციური ლაბორატორიული ექსპერიმენტებისთვის და სწავლების მოდელი. ტექნოლოგიური პლატფორმა გულისხმობს ლაბორატორიული ექსპერიმენტის დისტანციურად განხორციელებას შესაბამისი აღჭურვილობის მქონე სასწავლო დაწესებულებაში, ხოლო სტუდენტები იმყოფებიან სხვა უნივერსიტეტის დისტანციური ექსპერიმენტის განსახორციელებლად აღჭურვილ ინტერაქციულ კომპიუტერულ კლასში. სამუშაოში აღწერილია ტექნოლოგიური პლატფორმის არქიტექტურა და სწავლების მოდელი. წარმოდგენილია სტუდენტების კმაყოფილების კვლევის შედეგები. აქედან გამომდინარე, სამუშაოში საუბარია როგორც დადებით შედეგებზე და არსებულ გამოწვევებზე.

საკვანძო სიტყვები: დისტანციური ლაბორატორიული ექსპერიმენტი, დისტანციური სწავლება, ტექნოლოგიური პლატფორმა.

1. შესავალი

იმდენად დიდია დისტანციური სწავლების ხიბლი, რომ ცხადია საინჟინრო სწავლებაც გვერდს ვერ აუვლის სწავლების ასეთ ფორმატს. დისტანციური სწავლების ფორმატის საინჟინრო პროფილის საგანმანათლებლო პროგრამებში გამოყენების ძირითადი შემაფერხებელი ფაქტორი ლაბორატორიული ექსპერიმენტის დისტანციურად ჩატარების სირთულეა. საკითხს ამწვავებს ისიც, რომ მეთოდური თვალსაზრისით ნატურული ექსპერიმენტი ლაბორატორიულ სწავლებაში ბევრად უკეთეს შედეგს იძლევა და ბევრად უფრო ძვირია, ვიდრე ტრადიციული ლაბორატორიული ან თუნდაც ვირტუალური ექსპერიმენტი.

დისტანციური ლაბორატორიული ექსპერიმენტის ტექნოლოგიის დანერგვა მოხდა საგრანტო პროექტის #CIF-2-2024-03 – „საინჟინრო საგანმანათლებლო პროგრამების ერთობლივი შემუშავება და განხორციელება დისტანციური ლაბორატორიების გამოყენებით“ [1] ფარგლებში. ტექნოლოგია ეყრდნობა ქართულ ინოვაციას – დისტანციური ლაბორატორიული სისტემა [2]. პროექტი [1] ითვალისწინებს საინჟინრო ხასიათის სასწავლო კურსების დანერგვას ბათუმის შოთა რუსთაველის სახელმწიფო უნივერსიტეტში (ბსუ) და იაკობ გოგებაშვილის სახელობის თელავის სახელმწიფო უნივერსიტეტში (თესაუ) დისტანციური ლაბორატორიული ექსპერიმენტის საქართველოს ტექნიკურ უნივერსიტეტში (სტუ) განხორციელებით.

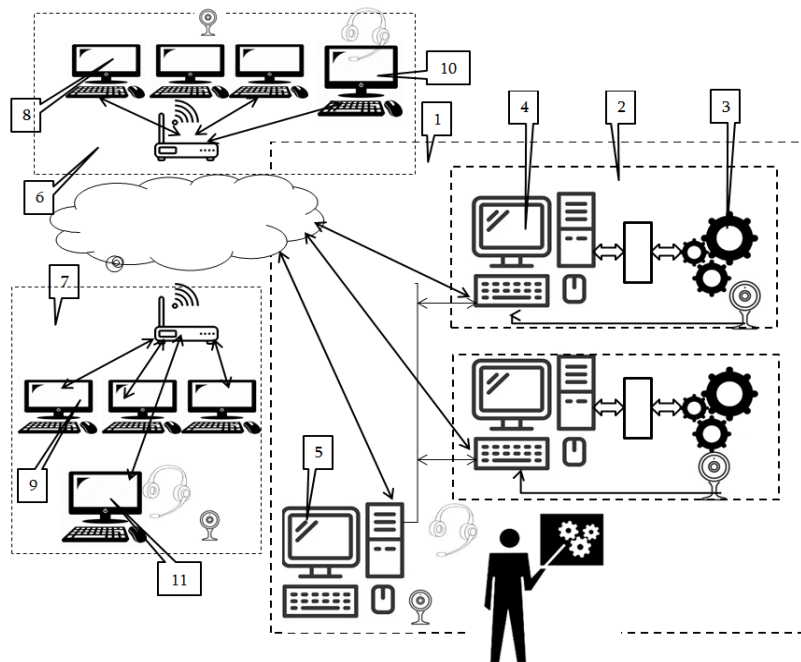
მოცემული სამუშაოს მიზანია დისტანციური ლაბორატორიული ექსპერიმენტის ტექნოლოგიის სასწავლო პროცესში დანერგვის შედეგების შეფასება ერთი კონკრეტული სასწავლო კურსის ფარგლებში, რამდენადაც დანერგილი ყველა სასწავლო კურსის შედეგებს ერთი სტატია ვერ დაიტევს. მოცემულ სამუშაოში წარმოდგენთ მხოლოდ ერთი სასწავლო კურსის, კერძოდ კი „SCADA სისტემების“ ბსუ-ში დანერგვის შედეგებს.

2. მეთოდოლოგია. დისტანციური ლაბორატორიული ექსპერიმენტის ტექნოლოგია და სწავლების მოდელი

დისტანციური ლაბორატორიული სისტემის [2] განხორციელება საქართველოს რეალობაში დაკავშირებული იყო ორ პრობლემასთან:

- დისტანციური სტუდენტის იდენტიფიცირების პრობლემა [3];
- „საქართველოს კანონის უმაღლესი განათლების შესახებ“ [4] დისტანციურ სწავლებასთან მიმართებაში არსებული შეზღუდვების გადალახვა.

ამდენად, პროექტის [1] ფარგლებში მოხდა დისტანციური ლაბორატორიული სისტემის [2] არქიტექტურის მოდიფიცირება, რომელიც გულისხმობს არქიტექტურაში დისტანციური სტუდენტების ინდივიდუალური კომპიუტერების ნაცვლად რეგიონული უნივერსიტეტების სასწავლო სივრცეში დისტანციური ინტერაქტიული კომპიუტერული კლასების გამოყენებას. ასევე, მოიაზრება კომპიუტერულ კლასში პედაგოგის (ზედამხედველის) არსებობა შესაბამისი კომპიუტერით [5]. შედეგად, წარმატებით იქნა გადახდილი ორივე პრობლემა.



სურ. 1. მოდიფიცირებული დისტანციური ლაბორატორიული სისტემის არქიტექტურა

მოდიფიცირებული სისტემის არქიტექტურა წარმოდგენილია სურ. 1-ზე, რომლის თანახმად, ერთ საგანმანათლებლო დაწესებულებაში (ამ შემთხვევაში სტუ-ში) განთავსებულია ლაბორატორიული სივრცე 1. ლაბორატორიული სივრცე 1 წარმოადგენს ლაბორატორიული დანადგარების 2 კლასტერს. ლაბორატორიული დანადგარი შედგება ლაბორატორიული სტენდისგან 3 და მისი მმართველი კომპიუტერისგან 4. მმართველი კომპიუტერები 4 და ინსტრუქტორის კომპიუტერი 5 ერთმანეთთან გაერთიანებულია ლოკალური ქსელით და ამასთან წვდომა აქვთ გლობალურ ქსელზე. ლაბორატორიული სტენდი აღჭურვილია ვებ-კამერით, რომელიც ოპტიკურად ორიენტირებულია სტენდზე 3. ინსტრუქტორის კომპიუტერი აღჭურვილია მობილური აუდიოგარნიტურით. ლაბორატორიული გარემო ასევე აღჭურვილია ლაბორატორიული სივრცის საერთო ხედვის ვებ-კამერით.

დისტანციური სტუდენტები იმყოფებიან ჯგუფურად ერთ ან რამდენიმე საგანმანათლებლო დაწესებულებაში დისტანციური ინტერაქტიული კომპიუტერული კლასებში 6,7, რომლებიც აღჭურვილნი არიან სტუდენტთა ინდივიდუალური სამუშაო ადგილებით 8, 9.

სტუდენტის ინდივიდუალური სამუშაო ადგილი 8,9 წარმოადგენს პერსონალურ კომპიუტერს-მონობლოკს, ანუ იგი აღჭურვილია ვებ-კამერით, მიკროფონით და დინამიკებით. ასევე ზედამხედველისთვის გათვალისწინებულია პერსონალური კომპიუტერი 10,11, რომელიც აღჭურვილია მობილური აუდიო გარნიტურით. სტუდენტთა ინდივიდუალური სამუშაო ადგილები 8,9 და ზედამხედველის კომპიუტერი 10,11 ჩართულია გლობალურ ქსელში.

საგანმანათლებლო დაწესებულება ახდენს სტუდენტთა იდენტიფიცირებას და სტუდენტთა ჯგუფისთვის თვითონ განსაზღვრავს ლაბორატორიული ექსპერიმენტის ჩატარების დროს და ხანგრძლივობას.

ამდენად, დისტანციური სწავლების სტუდენტები 8,9 ინსტრუქტორისგან იღებენ ლაბორატორიულ დანადგართან 2 დაშვების საიდენტიფიკაციო მონაცემებს, აუდიო-ვიდეო კომუნიკაციის საშუალებაში დაშვების საიდენტიფიკაციო მონაცემებს. კომუნიკაციის სისტემაში დაშვების შემდეგ, ინსტრუქტორი თითოეულ სტუდენტს ჯგუფებიდან 8,9 დაუშვებს კონკრეტული ლაბორატორიული დანადგარის 2 კომპიუტერში 4.

ორივე ინტერაქტიული კომპიუტერული კლასი 6,7 აღჭურვილია საერთო ხედის ვებ-კამერებით, რაც აძლიერებს სოციალური ჯგუფის შეგრძნებებს, ამასთან ინსტრუქტორს საშუალებას აძლევს აკონტროლოს პროცესი დისტანციურ კომპიუტერულ კლასში.

იმისათვის, რომ უზრუნველყოფილი იქნას დისტანციური ლაბორატორიული ექსპერიმენტი, საჭიროა სამი ქმედების განხორციელება:

- დისტანციური კომპიუტერიდან 8,9 სტუდენტის (-ების) პირდაპირი დაშვება ლაბორატორიული დანადგარის 2 კომპიუტერში 4. ეს საჭიროა იმისათვის, რომ სტუდენტმა შეძლოს ექსპერიმენტის განხორციელება ლაბორატორიულ სტენდზე 3.
- სტუდენტის აუდიო-ვიდეო თუ წერილობითი ინტერაქტივი ინსტრუქტორთან. ეს საჭიროა იმისათვის, რომ სტუდენტმა „უკარნახოს“ ინსტრუქტორს ლაბორატორიული სტენდის გაწყობის, გადაწყობის თუ ადმინისტრირების გეგმა.
- ინსტრუქტორის მიერ ლაბორატორიული სტენდის 3 გამართვა სტუდენტის დავალების შესაბამისად.

ინტერაქტიული კავშირის განხორციელებისთვის სტუდენტი იყენებს მონობლოკის აუდიო საშუალებებს და ვებ-კამერას, ხოლო ინსტრუქტორი – მობილურ აუდიო გარნიტურს და ვებ-კამერას. შესაბამისად, ინსტრუქტორი თავისუფლად გადაადგილდება კომპიუტერ 5-ს და ლაბორატორიულ დანადგარებს 2 შორის. დისტანციური სწავლების სტუდენტი იღებს ლაბორატორიულ დანადგართან 2 დაშვების დროს, ხანგრძლივობას, ლაბორატორიულ დანადგართან 3 დაშვების საიდენტიფიკაციო მონაცემებს, აუდიო-ვიდეო კომუნიკაციის საშუალებაში დაშვების საიდენტიფიკაციო მონაცემებს. კომუნიკაციის სისტემაში დაშვების შემდეგ, ინსტრუქტორი სტუდენტს დაუშვებს კონკრეტულ ლაბორატორიულ დანადგარის 2 კომპიუტერში 4. ამის შემდგომ სტუდენტი ინსტრუქტორს უგზავნის ექსპერიმენტის ჩატარებისთვის საჭირო სქემის ესკიზს. ინსტრუქტორის მიერ სქემის აწყობის შემდგომ, სტუდენტი იწყებს დამოუკიდებლად ექსპერიმენტის ჩატარებას. ექსპერიმენტის მსვლელობას სტუდენტი აკვირდება კომპიუტერის 4 მონიტორზე და ვებ-კამერით უშუალოდ ლაბორატორიულ სტენდზე 3. იმავდროულად მას აქვს ვერბალური კავშირი ინსტრუქტორთან. ლაბორატორიული ექსპერიმენტის მსვლელობისას მოგროვილი მონაცემები განთავსდება მონაცემთა ბაზაში. 4. ლაბორატორიული ექსპერიმენტის დამთავრების შემდგომ სტუდენტი მონაცემთა ბაზიდან გადმოწერს ექსპერიმენტის შედეგებს საკუთარ კომპიუტერში 8,9 და მოახდენს მის დამუშავებას.

ინსტრუქტორის ვებ-კამერას აქვს სხვა დანიშნულებაც. იგი ისე უნდა იყოს ორიენტირებული, რომ დისტანციური სტუდენტის მხედველობის არეში მოექცეს ინსტრუქტორი და ლაბორატორიული სივრცე 1 მთლიანად. ეს უქმნის დისტანციურ სტუდენტს განცდას, რომ იგი იზოლირებული არ არის დასწრებული სტუდენტების სოციალურსაგან. ამ აზრს ამყარებს ისიც, რომ დისტანციური ინტერაქციის პროგრამული უზრუნველყოფა საშუალებას იძლევა, რომ სტუდენტი დააკვირდეს სხვა დისტანციური სტუდენტების გამოსახულებებს.

იმისათვის, რომ სტუდენტმა განახორციელოს პირდაპირი ინტერაქცია ინსტრუქტორთან, ამისათვის სტუდენტის კომპიუტერში 8,9 და ინსტრუქტორის კომპიუტერში 5 არსებობს შესაბამისი პროგრამული უზრუნველყოფები.

სტუდენტისთვის უშუალოდ ლაბორატორიაში ყოფნის განცდას ამყარებს ვებ-კამერა, რომელიც აკვირდება ლაბორატორიულ სტენდზე 3 მიმდინარე პროცესებს. იგივე ვებ-კამერა ასრულებს ასევე უკუკავშირის როლს ლაბორატორიული ექსპერიმენტის მიმდინარეობის შესახებ. გასაგებია, რომ ლაბორატორიულ სტენდთან 3 ასევე უკუკავშირის როლს ასრულებს ლაბორატორიული დანადგარის 2 კომპიუტერის 4 მონიტორზე ასახული მოვლენებიც. ამდენად, ლაბორატორიული დანადგარის 2 კომპიუტერის 4 მონიტორზე ასახულია უშუალოდ ლაბორატორიულ ექსპერიმენტთან დაკავშირებული მოვლენები და გამოსახულება ვებ-კამერიდან. თავის მხრივ, ლაბორატორიული დანადგარის 2 კომპიუტერის 4 მონიტორი გაზიარებულია სტუდენტის კომპიუტერის 8,9 მონიტორზე. ამდენად, დისტანციური სტუდენტის კომპიუტერის 8,9 მონიტორზე აისახება: ლაბორატორიული ექსპერიმენტის მონაცემები; ლაბორატორიული სტენდის ვიზუალური გამოსახულება; ლაბორატორიული სივრცის 1 საერთო ხედი; დისტანციური სტუდენტების გამოსახულებები.

შესაბამისად, ინსტრუქტორის კომპიუტერის 5 მონიტორზე აისახება: სასწავლო პროცესის მენეჯმენტის პროგრამული უზრუნველყოფის შედეგები: ლაბორატორიულ დანადგარებთან 2 სტუდენტების განაწილების სია, ლაბორატორიული სამუშაოს დაწყების და დამთავრების დროები და ა.შ.; დისტანციური სტუდენტების გამოსახულებები; დისტანციურ სტუდენტებთან კომუნიკაციის ველი.

სწავლების მოდელი. „SCADA სისტემების“ სასწავლო კურსის მიხედვით დისტანციური ლაბორატორიული ექსპერიმენტი მოითხოვება სამ შემთხვევაში: პრაქტიკულ მეცადინეობაზე, როცა ექსპერიმენტს ატარებს პედაგოგი და სტუდენტები არიან აქტიური დამკვირვებლები. ლაბორატორიულ მეცადინეობაზე, როცა სტუდენტი დისტანციურ ექსპერიმენტს ატარებს დამოუკიდებლად, ხოლო პედაგოგი ამოწმებს თუ რამდენად კარგად ესმის სტუდენტს დასმული ამოცანა და უწევს კონსულტაციას. აკონტროლებს ექსპერიმენტის მიმდინარეობის სისწორეს და საჭიროების შემთხვევაში შეაქვს შესაბამისი კორექტივები. მესამე შემთხვევა არ არის სწავლების აუცილებელი კომპონენტი.

ტექნოლოგიის დანერგვის მეთოდოლოგია: საჭირო ინფრასტრუქტურის განხორციელება სტუ-ში და ბსუ-ში; სასწავლო სილაბუსის შემუშავება სასწავლო კურსში „SCADA სისტემები“, რომელიც ადაპტირებულია დისტანციურ ლაბორატორიულ ექსპერიმენტზე; მოხდა ლაბორატორიული სამუშაოების ჩატარების მეთოდური ლიტერატურის ადაპტირება დისტანციური ექსპერიმენტისთვის; კომუნიკაციის პროტოკოლების შემუშავება: „სტუდენტი-ტექნოლოგია“, „სტუდენტი-ხედავადველი“, „სტუდენტი-ინსტრუქტორი“; ტექნიკური პროტოკოლების შემუშავება: „კომპიუტერი 8,9-კომპიუტერი 4“; გასვლითი ლექცია დისტანციურ ლაბორატორიულ ტექნოლოგიასთან დაკავშირებით ბსუ-ს სტუდენტებისთვის; სასწავლო ცხრილების სინქრონიზაცია სტუ-სა და ბსუ-ს შორის „SCADA სისტემების“ სასწავლო კურსის სწავლებისათვის.

3. მსჯელობა:

ბსუ-ში დისტანციური ლაბორატორიული ექსპერიმენტის ტექნოლოგიის დანერგვასთან ახლდა ორი დიდი გამოწვევა:

- „SCADA სისტემების“ სასწავლო კურსი შეტანილი იქნა ბსუ-ს საგანმანათლებლო პროგრამაში „კომპიუტერული მეცნიერება“. „SCADA სისტემების“ სასწავლო კურსს აქვს გამოხატული საინჟინრო „ელფერი“. ამასთან, საგანმანათლებლო პროგრამა „კომპიუტერული მეცნიერება“ საკმაოდ შორსაა ინჟინერიისგან. ამდენად, ჩვენ არ ვიცოდით როგორ მიიღებდა ამ სასწავლო კურსს სტუდენტები.
- არც სტუ-ს და არც ბსუ-ს არ ქონდა დისტანციური საინჟინრო კურსის წარმართვის და მითუმეტეს დისტანციური ლაბორატორიული ექსპერიმენტის ჩატარების გამოცდილება.

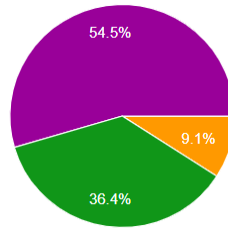
„SCADA სისტემების“ სასწავლო კურსი განიხილავს ყველა გამოყენებითი ასპექტის ტექნოლოგიური პროცესების ციფრული და კომპიუტერული მართვის საკითხებს. დღევანდელ თაობას ისედაც აქვს შეხება ტექნოლოგიური პროცესების მართვასთან, თუნდაც ყოფით საკითხებში. ამდენად, ეს სასწავლო კურსი საინტერესო აღმოჩნდა „კომპიუტერული მეცნიერების“ საგანმანათლებლო პროგრამის სტუდენტებისთვის. „SCADA სისტემების“ სასწავლო კურსი ერთერთ სასწავლო კომპონენტად მოიაზრებს ჯგუფური საკურსო პროექტის გაკეთებასაც. აქ საინტერესოდ განვითარდა მოვლენები. „SCADA სისტემების“ სასწავლო კურსი განიხილავს SCADA სისტემების როგორც აპარატულ, ასევე პროგრამულ მხარესაც. ამ სასწავლო კურსის ფარგლებში მინიშნება კეთდება იმაზეც, რომ კონფიგურირებასთან ერთად შესაძლებელია პროგრამირებაც. ვინაიდან, „კომპიუტერული მეცნიერების“ საგანმანათლებლო პროგრამის სტუდენტები უფრო დახელოვნებულნი არიან პროგრამირებაში, ამიტომ მათ საკურსო პროექტში უფრო ყურადღება გაამახვილეს პროგრამირების საკითხებზე. ამდენად, ეს მომენტი ამ სასწავლო კურსის ავტორებისთვის (ლ.იმნაიშვილი, მ.ბედინიშვილი) კარგი გამოცდილება აღმოჩნდა.

დისტანციური ლაბორატორიული ექსპერიმენტები ბსუ-დან სტუ-ს SCADA სისტემების ლაბორატორიაში მიმდინარეობდა 2024/2025 სასწავლო წლის საგაზაფხულო სემესტრის განმავლობაში. ლაბორატორიულ ექსპერიმენტებს მოითხოვდა სასწავლო კურსის პრაქტიკული, ლაბორატორიული და საკურსო პროექტის სასწავლო კომპონენტები.

ექსპერიმენტისთვის საჭირო მოსამზადებელ სამუშაოებს სტუდენტები ახდენდნენ ბსუ-ს ინტერაქტიულ კომპიუტერულ კლასში. საექსპერიმენტო აღჭურვილობის გამოყენების მომენტისთვის ხდებოდა ინტერაქტიულ კომპიუტერულ კლასის კონკრეტული კომპიუტერის „მიბმა“ სტუ-ს SCADA სისტემების ლაბორატორიის კონკრეტულ დანადგართან.

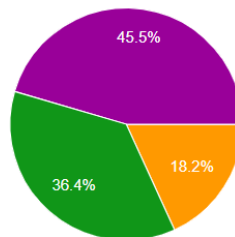
დისტანციურ ლაბორატორიული ექსპერიმენტის ეფექტურობასთან დაკავშირებით სტუდენტებში ჩატარდა გამოკითხვა, რომელმაც მოგვცა საინტერესო შედეგები.

დღევანდელი სტუდენტობა არის ციფრული და ინტერნეტ ტექნოლოგიების თაობა. პრაქტიკაში ეს ნიშნავს, რომ ისინი ენდობიან ამ ტექნოლოგიებს და ინტუიციის დონეზე აქვთ ათვისებული შესაბამისი ინსტრუმენტები. ეს რეალობა „SCADA სისტემების“ სასწავლო კურსის დისტანციური ლაბორატორიული ექსპერიმენტის წარმართვის დროსაც გამოჩნდა. ამ თაობისთვის დისტანციური ლაბორატორიული ექსპერიმენტები სრულებით მისაღებია, რაზეც მიუთითებს გამოკითხვის შედეგები (სურ.2). წარმოდგენილ დიაგრამებზე ფერები მიუთითებს პასუხებზე: იასამნისფერი-კატეგორიულად ვეთანხმები, მწვანე-ვეთანხმები, ყვითელი-ნეიტრალური ვარ, წითელი-არ ვეთანხმები, ლურჯი-კატეგორიულად არ ვეთანხმები.



სურ.2. დისტანციური ლაბორატორიული ექსპერიმენტის მისაღებლობა

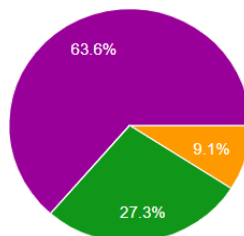
კითხვაზე, თუ რამდენად შეუფერხებლად მუშაობდა დისტანციური ლაბორატორიული ექსპერიმენტის ტექნიკური აღჭურვილობა, პასუხები შედარებით დამაჯერებელი არ იყო (სურ.3). არადამაჯერებლობაში აქ იგულისხმება ინტერნეტის არასტაბილურობა. აქ გასარკვევია სტუ-ს თუ ბსუ-ს ინტერნეტმომარაგება, თუ გლობალური ქსელი სცოდავდა, თუმცა ყველა შემთხვევაში, მიუხედავად ფრაგმენტული არასტაბილურობისა, ინტერნეტმომარაგება დამაკმაყოფილებელი იყო.



სურ.3. აღჭურვილობის შეუფერხებელი მუშაობა

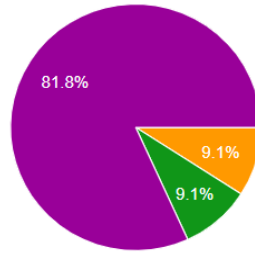
პრაქტიკაში შედარებით პრობლემური გამოდგა ინტერაქტიულ კომპიუტერულ კლასში აკუსტიკური უკუკავშირით გამოწვეული ექო. ვფიქრობთ, რომ ამ მიმართულებით კიდევ გვაქვს სამუშაო.

სტუდენტებს სხვა სასწავლო კურსებიდან უკვე ქონდათ გამოცდილება დასწრებული ლაბორატორიული სასწავლო კომპონენტის განხორციელებისა. მიუხედავად ამისა, მოდელის დანერგვის პროცესში ერთერთ მთავარ გამოწვევად მიგვაჩნდა პროტოკოლები: „სტუდენტის და ტექნოლოგიების ურთიერთქმედება“, „კომუნიკაცია სტუდენტსა და ზედამხედველს შორის“, „კომუნიკაცია სტუდენტსა და ინსტრუქტორს შორის“. სიამაყით შეგვიძლია აღვნიშნოთ, რომ ეს გამოწვევები წარმატებით იქნა გადალახული. კითხვაზე „დისტანციური ლაბორატორიული ექსპერიმენტის ინსტრუქციები იყო მკაფიო, გასაგები და ადვილად შესასრულებელი“ სტუდენტების პასუხები გადანაწილდა შემდეგნაირად (სურ.4).



სურ.4. დისტანციური ლაბორატორიული ექსპერიმენტის ინსტრუქციების მკაფიობა

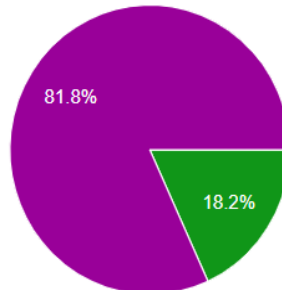
იგივე საკითხს ეხმიანება კითხვა „ლექტორები/ასისტენტები ხელმისაწვდომნი იყვნენ კითხვებზე პასუხის გასაცემად და დახმარების აღმოსაჩენად“ (სურ.5). თუმცა ამ შემთხვევაში მუშაობდა სხვა ფაქტორებიც: პერსონალს გავლილი ქონდა შესაბამისი ტრენინგები როგორც პროფესიული გადამზადების, ასევე დისტანციური სწავლების ტექნოლოგიაში. მეორეც, ჩამოთვლილი პერსონალი მოქმედებდა ერთი გუნდის პრინციპით და მაღალი მოტივაციით.



სურ. 5. ლექტორები/ასისტენტები იყვნენ ხელმისაწვდომნი

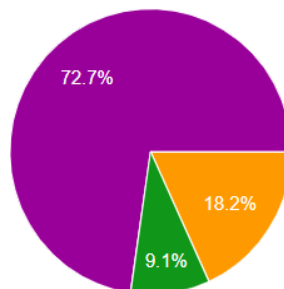
აქ ერთგვარ გამოწვევას წარმოადგენდა თანაფარდობა: ინსტრუქტორი/ლაბორატორიული სტენდის რაოდენობა. ერთმა ინსტრუქტორმა წარმატებით გაართვა თავი ხუთი სტენდის მომსახურებას. თუმცა ეს თანაფარდობა მოქმედებაშია SCADA სისტემების ლაბორატორიის შემთხვევაში, სხვა ლაბორატორიის შემთხვევაში იქნება სხვა.

ზოგადად დისტანციური სწავლება გულისხმობს სტუდენტის ინდივიდუალურ ჩართულობას სასწავლო პროცესში. განსხვავებით ამისგან, პროექტის მიერ შეთავაზებული ფორმატი, როცა დისტანციური სტუდენტები იმყოფებიან ერთ სივრცეში, აღმოჩნდა დადებითი მუხტის მატარებელი სტუდენტთა გუნდური ჩართულობის თვალსაზრისით. დისტანციური სტუდენტების ერთ სამუშაო სივრცეში არსებობამ, თანამედროვე ტექნოლოგიებთან შეხებამ სასწავლო პროცესში მეტი მოტივაცია შესძინა სტუდენტებს. ამით უნდა აიხსნას კითხვაზე „შევძელი ეფექტურად თანამშრომლობა სტუდენტებთან და ინსტრუქტორთან დისტანციურ გარემოში“ დადებითი პასუხები (სურ.6). ეს დიაგრამა გვიჩვენებს, თუ როგორ უნდა გადაილახოს სოციალური ნაკლებობა დისტანციური სწავლების დროს.



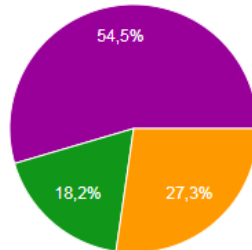
სურ. 6. თანამშრომლობის ეფექტურობა

ზოგადად დისტანციური სწავლება სტუდენტისგან მოითხოვს თვითდისციპლინის მაღალ დონეს. პროექტის მიერ შეთავაზებული სწავლების მოდელის შემთხვევაში ნაკლებად მოითხოვება თვითდისციპლინის მაღალი დონე, რამდენადაც სტუდენტები იმყოფებიან ერთ სივრცეში პედაგოგთან ერთად. ამდენად, ისინი ადვილად ახერხებდნენ ლაბორატორიული მეცადინეობების დროის (დაწყება, დასრულება, შესვენებები) ადექვატურად განაწილებას. გასაგებია, რომ ეს მომენტი შესაბამისად აისახა გამოკითხვის შედეგზე (სურ.7).



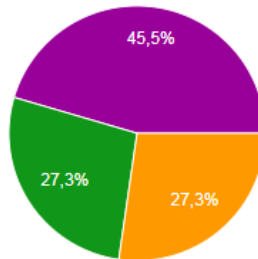
სურ. 7. ლაბორატორიული მეცადინეობის დროის განაწილება

ლაბორატორიული ექსპერიმენტები ხელს უწყობს პრაქტიკული უნარების განვითარებას. შემოთავაზებული მოდელის შემთხვევაში სტუდენტებმა პრაქტიკულ უნარებთან ერთად განვითარეს კომუნიკაციის უნარებიც, რამდენადაც მათ ექსპერიმენტის პროცესში უნთიერთობა უხდებოდათ ინსტრუქტორებთან ლაბორატორიაში. ცხადია, კომუნიკაცია მიდიოდა პროფესიულ ენაზე. ამიტომაც, რომ კითხვაზე „დისტანციურმა ფორმატმა ხელი შეუწყო ჩემს დამოუკიდებელ სწავლასა და პრობლემის გადაჭრის უნარების განვითარებას“ იძლევიან სურათზე ნაჩვენებ შეფასებებს (სურ.8).



სურ. 8. დამატებითი უნარების განვითარება

ჩვენთვის ასევე საინტერესო იყო, როგორ დაეხმარება დასაქმებაში ახალი სასწავლო კურსი “SCADA სისტემები“ საბაკალავრო პროგრამის კურსდამთავრებულებს. მიუხედავად იმისა, რომ SCADA განკუთვნილია ტექნოლოგიური პროცესების მართვისათვის და სტუდენტები თავიანთი დასაქმების მომავალს ხედავენ ქ.ბათუმში და აჭარის რეგიონში, მათი პასუხები SCADA-თან, როგორც დასაქმების არეალის გაფართოებასთან დაკავშირებით, მაინც დამაჯერებელი იყო (სურ.9).



სურ. 9. SCADA, როგორც დასაქმების საშუალება

3. შედეგები

„დისტანციური ლაბორატორიული სისტემის“ [2] დანერგვამ ბსუ-ს მაგალითზე აჩვენა: დისტანციური ლაბორატორიული სისტემა წარმატებით შეიძლება იქნას გამოყენებული საქართველოს საგანმანათლებლო სივრცეში; ერთი საგანმანათლებლო დაწესებულების მიერ მეორე საგანმანათლებლო დაწესებულების ლაბორატორიული ბაზის და კონკრეტული სასწავლო კურსის მიმართულებით სწავლების გამოცდილების გაზიარება სასარგებლოა ორივე სასწავლო დაწესებულებისთვის; სტუ-ში და ბსუ-ში შექმნილია დისტანციური ლაბორატორიული ექსპერიმენტის განხორციელებისთვის საჭირო ინფრასტრუქტურა, რაც ხელს შეუწყობს დისტანციური საინჟინრო სწავლების განვითარებას. დისტანციური ლაბორატორიული ექსპერიმენტები ბსუ-ში უკვე დანერგილია ორ სასწავლო კურსში და მიმდინარე სემესტრში კიდევ ინერგება ერთ სასწავლო კურსში; სტუ-ში და ბსუ-ში IT ინფრასტრუქტურა დღეისთვის აკმაყოფილებს დისტანციური ლაბორატორიული ექსპერიმენტის მოთხოვნებს; საინჟინრო სწავლებაში დისტანციური ლაბორატორიული ექსპერიმენტი სრულიად ცვლის ტრადიციული (დასწრებული) სწავლების ჩვენში დამკვიდრებულ აღქმას. ეხება ეს სწავლების

ყველა კომპონენტს, რომელიც საჭიროებს დისტანციურ ლაბორატორიულ ექსპერიმენტებს; გასაუმჯობესებელია სტუდენტისა და ინსტრუქტორის აუდიოკავშირის ინფრასტრუქტურა.

4. დასკვნები:

- მოდიფიცირებულმა დისტანციურმა ლაბორატორიული სისტემის არქიტექტურამ და ლაბორატორიული სამუშაოს წარმართვის პროტოკოლებმა აჩვენეს ეფექტურობა გამოყენების ოპერატიულობის და სიმარტივის კუთხით.
- დისტანციური ლაბორატორიული ექსპერიმენტი საშუალებას იძლევა ერთმა უნივერსიტეტმა გამოიყენოს მეორე უნივერსიტეტის აღჭურვილობა.
- მოხსნილია დისტანციური ექსპერიმენტისათვის დამახასიათებელი სტუდენტის იდენტიფიცირების პრობლემები.
- აღმოჩნდა, რომ დისტანციური ლაბორატორიული ექსპერიმენტი ხელს უწყობს სტუდენტებში დამატებითი უნარების განვითარებას.
- დისტანციური ლაბორატორიული ექსპერიმენტისათვის სრულებით მისაღები აღმოჩნდა საქართველოს ინტერნეტ სივრცე (სიჩქარე, გამტარუნარიანობა).

გამოყენებული ლიტერატურა:

1. <https://reenlab.gtu.ge/ka>
2. ა. ფრანგიშვილი, ლ. იმნაიშვილი, მ. ბედინეიშვილი, გ. ზედგინიძე. დისტანციური ლაბორატორიული სისტემა. პატენტი გამოგონებაზე, # GE U 2022 2123 Y, 2022 წ
3. Portugal, D., Faria, J.N., Belk, M. et al. Continuous user identification in distance learning: a recent technology perspective. Smart Learn. Environ. 10, 38 (2023).
4. საქართველოს კანონი უმაღლესი განათლების შესახებ.
5. Levan Imnaishvili, Maguli Bedineishvili, Tea Todua, Archil Chovelidze. Development of a remote laboratory experiment model in the hyflex format of teaching. ISPC 2024, 4th annual International Scientific-Practical Conference "Digital Management and Artificial Intelligence" 10. and 11. October 2024. <https://eeu.edu.ge/wp-content/uploads/2024/12/Conference-Agenda15.pdf>

Experience in implementing remote laboratory experiment technology

Levan Imnaishvili*, Maguli Bedineishvili*, Mikheil Donadze**

*Georgian Technical University

**Batumi Shota Rustaveli State University

l.imnaishvili@gtu.ge, m.bedineishvili@gtu.ge, mikheil.donadze@bsu.edu.ge

Abstract

The work concerns the implementation of remote experimentation in engineering education. For this purpose, an original technological platform for remote laboratory experiments and a teaching model are used. The technological platform involves the remote implementation of a laboratory experiment in an educational institution with appropriate equipment, while students are in an interactive computer classroom equipped for remote experimentation at another university. The work describes the architecture of the technological platform and the teaching model. The results of a student satisfaction survey are presented. Therefore, the work discusses both positive results and existing challenges.

Keywords: remote laboratory experiment, distance learning, remote laboratory technology platform.

დიაგნოსტიკური რეფერენტული დონეების განსაზღვრა გულმკერდის რენტგენოდიაგნოსტიკაში

ანა ფიცხელაური, ნინო ესვანჯია, ლაშა ქუთათელაძე

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

a.pitskhelauri@gtu.ge, esvanjia@gmail.com, kutateladze.l@gtu.ge

რეზიუმე

თანამედროვე მედიცინა წარმოდგენილია სხივური დიაგნოსტიკის გარეშე. სამედიცინო დიაგნოსტიკა კი ორგანოთა და ქსოვილთა მაღალინფორმაციულ ვიზუალიზაციას გულისხმობს, რაც გარკვეულ რადიაციულ რისკებთან არის დაკავშირებული. სწორედ აღნიშნულმა განაპირობა დიაგნოსტიკური რეფერენტული დონის (DRL) განსაზღვრის აქტუალურ თემად ქცევა, რაც მოთხოვნილია როგორც საერთაშორისო რეგულაციებით, ისე საქართველოს კანონმდებლობით, საქართველოსთვის რენტგენოდიაგნოსტიკის ეროვნული პროტოკოლებისთვის. DRL-ის განსაზღვრა უზრუნველყოფს პაციენტის უსაფრთხოებას, ხარისხის უზრუნველყოფას, ეკონომიკურ სარგებელს, რეგულაციებთან შესაბამისობას და ტექნოლოგიების წინსვლას.

საქართველოში პაციენტთა რადიაციულ უსაფრთხოების ოპტიმიზაციის მიზნით, ჩვენ საპილოტე რეჟიმში მოვახდინეთ რენტგენოდიაგნოსტიკური პროტოკოლისთვის DRL-ის განსაზღვრა. კერძოდ, MATLAB გარემოში შეიქმნა ინსტრუმენტი, რომლის გამოყენებითაც შესაძლებელი გახდა DRL-ის განსაზღვრა რენტგენოდიაგნოსტიკის კონკრეტული პროცედურის - გულმკერდის რენტგენოდიაგნოსტიკის პროტოკოლისთვის. შექმნილი ინსტრუმენტის გამოყენებით დამუშავდა გულმკერდის მრავალი რენტგენოგრამა (ვიზუალური მასალა) და მიღებულ იქნა შედეგები.

საკვანძო სიტყვები: რენტგენოდიაგნოსტიკა, დიაგნოსტიკური რეფერენტული დონე.

1. შესავალი.

ბოლო ათწლეულების განმავლობაში აქტიურად განვითარებული სამედიცინო დიაგნოსტიკა წარმოდგენილია მაიონებელი გამოსხივების გამოყენების გარეშე, რაც არც თუ მცირე რადიაციულ რისკებთან არის დაკავშირებული. შესაბამისად, აქტუალურია რადიაციული დაცვის საკითხები, გამოკვეთილია რადიაციული უსაფრთხოების ოპტიმიზაციის აუცილებლობა.

რადიაციული უსაფრთხოების ოპტიმიზაციის აუცილებლობამ განაპირობა დიაგნოსტიკური რეფერენტული დონის (DRL) განსაზღვრის აქტუალურ თემად ქცევა. აღნიშნული მოთხოვნილია ისეთი საერთაშორისო ორგანიზაციების მიერ, როგორიცაა რადიაციული დაცვის საერთაშორისო კომისია (ICRP), ატომური ენერგიის საერთაშორისო სააგენტო (IAEA), ატომური ენერგიის ევროპის საზოგადოება (EURATOM). DRL-ების განსაზღვრა მოთხოვნილია საქართველოს კანონმდებლობითაც, საქართველოსთვის რენტგენოდიაგნოსტიკის ეროვნული პროტოკოლებისთვის. განსაზღვრული DRL-ების არსებობა უზრუნველყოფს პაციენტის უსაფრთხოებას, ხარისხის უზრუნველყოფას, ეკონომიკურ სარგებელს, რეგულაციებთან შესაბამისობას და ტექნოლოგიების წინსვლას.

DRL არის მარტივად გაზომვადი რაოდენობაზე დაფუძნებული სამეცნიერო ღირებულება, რომლის მიზანია ამოიცნოს შემთხვევები, სადაც პაციენტის დოზა ან ზედმეტად მაღალია ან ზედმეტად დაბალი – იმ ხარისხამდე, რაც შეიძლება არ შეესაბამებოდეს კლინიკურ მიზანს. DRL-ები გამოიყენება როგორც სახელმძღვანელო დონეები და არა მკაცრად ლიმიტირებული დონეები. ისინი უზრუნველყოფენ დოზების შენარჩუნებას გონივრულად მიღწევად დაბალ დონეზე, ქსოვილების და ორგანოების ვიზუალიზაციის ხარისხის ადეკვატურობას. ძირითადად გამოიყენება რენტგენოდიაგნოსტიკაში, კომპიუტერულ ტომოგრაფიაში, ფლოუროსკოპიასა და ბირთვულ მედიცინაში. დგინდება ფართო პოპულაციის მონაცემებზე დაყრდნობით. გამოიყენება 75-ე პროცენტის პრინციპი.

2. მეთოდოლოგია.

ჩვენი კვლევა გახლავთ პილოტური. მის ფარგლებში შეგროვდა, დახარისხდა გაანალიზდა და დამუშავდა გარკვეული რაოდენობის პაციენტების გულმკერდის რენტგენოდიაგნოსტიკის, კეროდ, რადიოგრაფიის, მონაცემების DICOM (Digital Imaging and Communications in Medicine) ფაილები. გამოითვალა DRL MATLAB გარემოში ჩვენს მიერ შექმნილი ინსტრუმენტის საშუალებით. კვლევაში გამოყენებულ იქნა საქართველოს რეალური პაციენტების მონაცემები, პაციენტთა კონფიდენციალურობის სრული დაცვით.

3. მსჯელობა:

ჩვენი პილოტური კვლევის ფარგლებში MATLAB გარემოში შეიქმნა ინსტრუმენტი, რომლის გამოყენებითაც დამუშავდა გულმკერდის დიაგნოსტიკის 27 პაციენტის დიაგნოსტიკური კვლევის შედეგები, შესაბამისი DICOM ფაილებიდან აღებულ მონაცემებზე დაყრდნობით.

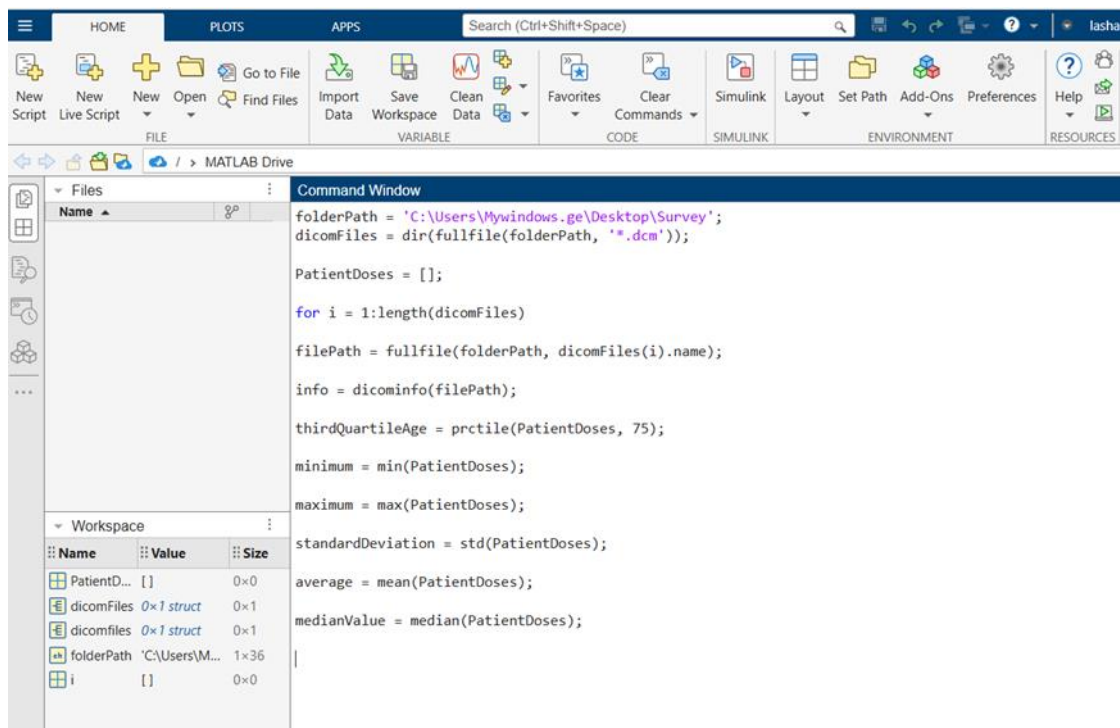
MATLAB-ის ინსტრუმენტის გამოყენებით მოხერხდა მონაცემთა საშუალო მნიშვნელობის, სტანდარტული გადახრის, მედიანის, მესამე კვარტილის (75-ე პროცენტილი) გამოთვლა. გამოთვლილი მონაცემები მოიცავს პაციენტის ასაკს, ფოკუსიდან ფირამდე მანძილს, მილაკის ძაბვას (KV), კერმას განაწილების პროდუქტს (KAP) ერთეულით Gy cm².

კიდევ ერთი პროგრამა, რომელიც დაგეგმვარა DICOM ფაილების წაკითხვაში გახლავს FIJI, ImageJ-ის გაფართოებული ვერსია, რომელიც წარმოადგენს ბიომედიცინაში გამოსახულების ანალიზის ერთ-ერთ ყველაზე ცნობილ პროგრამას. გამოიყენება ციფრული გამოსახულების დამუშავებისა და ანალიზისთვის, განსაკუთრებით ბიოლოგიურ და სამედიცინო კვლევებში. მოიცავს წინასწარ დაყენებულ პლაგინებს, სკრიპტინგის შესაძლებლობებს და მოკლე გზებს, რის გამოც FIJI-ის გამოყენებამ მნიშვნელოვნად გააღვიძრა რთული მონაცემების ანალიზი.

MATLAB გარემოში შექმნილი ჩვენი ინსტრუმენტის მეშვეობით განხორციელდა გულმკერდის რენტგენოდიაგნოსტიკური კვლევის 27 პაციენტის 55 ინდივიდუალური მონაცემის წაკითხვა და დამუშავება.

ამ პროცესის დროს MATLAB-ში გამოყენებული კოდები მოცემულია სურათზე 1.

შედეგების სახით მიღებულ იქნა მესამე კვარტილის (75-ე პროცენტილი) შემდეგი მნიშვნელობები 0.7875 Gy*cm², 0.4335 Gy*cm², 0.37 Gy*cm², 2.144 Gy*cm², 0.653 Gy*cm². საბოლოოდ, დადგენილ იქნა 0.985 Gy.cm².



სურათი 1. MATLAB-ის სამუშაო სივრცე

შედეგები. ჩვენს პილოტურ კვლევაში გამოყენებული 27 პაციენტის დოზური მონაცემის დამუშავების საფუძველზე გამოთვლილი DRL (75-ე პროცენტილი) გულმკერდის რენტგენო-დიაგნოსტიკისთვის, კერძოდ, რადიოგრაფიისთვის აღმოჩნდა 0.985 Gy.cm^2 . აღნიშნული მნიშვნელობა შეესაბამება მხოლოდ კონკრეტული დაწესებულების ერთი განყოფილების პაციენტთა მცირე ჯგუფზე ჩატარებული კვლევის შედეგს და ამიტომ არ შეიძლება გამოყენებულ იქნას როგორც რეფერენტული დონის შეფასება საქართველოსთვის.

4. დასკვნა

ჩვენი პილოტური კვლევის მიზანი იყო საქართველოში მდებარე სამედიცინო დაწესებულებიდან პაციენტთა გულმკერდის რენტგენო-დიაგნოსტიკის, კერძოდ რადიოგრაფიის, მონაცემებზე დაყრდნობით DRL გამოთვლა, ჩვენს მიერ შექმნილი ინსტრუმენტის გამოყენებით.

კვლევის ფარგლებში შეგროვდა 27 პაციენტის დოზური მონაცემი, რის საფუძველზეც გამოთვლილი DRL (75-ე პროცენტილი) გულმკერდის რადიოგრაფიისთვის აღმოჩნდა 0.985 Gy.cm^2 . აღნიშნული მნიშვნელობა შეესაბამება მხოლოდ კონკრეტული დაწესებულების ერთი განყოფილების პაციენტთა მცირე ჯგუფზე ჩატარებული კვლევის შედეგს და არ შეიძლება გამოყენებულ იქნას როგორც რეფერენტული დონის შეფასება საქართველოსთვის.

ჩვენს ქვეყანაში DRL-ების დანერგვა ჯერ კიდევ საწყის ეტაპზეა. მიუხედავად საერთაშორისო რეკომენდაციებითა და ეროვნული კანონმდებლობით მოთხოვნისა, რეალური კლინიკური მონაცემების შეგროვება და DRL-ების დადგენა ჯერ-ჯერობით არ ხორციელდება სისტემურად. ეს მნიშვნელოვნად აფერხებს რადიაციული დაცვის ხარისხის გაუმჯობესებას და დასახივების მართვის სტრატეგიის სრულყოფას.

კვლევის შედეგები აჩვენებს, რომ DRL-ების დანერგვა შესაძლებელია უცხოური მონაცემების ადაპტაციით და მათი ეტაპობრივი შეჯერებით ადგილობრივ პრაქტიკასთან. ამავდროულად, აუცილებელია საქართველოს სამედიცინო დაწესებულებებში დოზის მონი-

ტორინგის სისტემების დანერგვა, კლინიკური პერსონალის შესაბამისი ტრენინგი და მარეგულირებელი ჩარჩოების გაძლიერება.

განსაკუთრებულად მნიშვნელოვანია ეროვნულ დონეზე შეიქმნას მონაცემთა ერთიანი ბაზა, რომელიც მოიცავს პაციენტთა დოზებს სხვადასხვა დიაგნოსტიკური პროცედურისთვის. ამგვარი სისტემა შესაძლებელს გახდის DRL-ების პერიოდულ გადახედვასა და მათ თანხვედრას რეალურ პრაქტიკასთან.

ვფიქრობ, ჩვენს მიერ ჩატარებული კვლევა, წარმოდგენილი მონაცემები და ანალიზი შეიძლება გახდეს საფუძველი ადგილობრივი DRL-ების შემუშავებისა და სამომავლო კვლევების დაწყებისთვის.

გამოყენებული ლიტერატურა:

1. International Commission on Radiological Protection (ICRP), 2017. Diagnostic reference levels in medical imaging. ICRP Publication 135. Ann. ICRP 46(1)
<https://www.icrp.org/publication.asp?id=ICRP%20Publication%20135>
2. საქართველოს მთავრობის დადგენილება #226, 2022 წლის 26 აპრილი, ქ.თბილისი
3. Schegerer A., Loose R., Heuser L. J., Brix G. Diagnostic reference levels for diagnostic and interventional X-ray procedures in Germany: Update and Handling. Fortschr Röntgenstr (RöFo) 2019; 191: 739-751
4. Public Health England. National Diagnostic Reference Levels (NDRLs) [Internet]. Vol. 11. 2016.
<https://www.gov.uk/government/publications/diagnostic-radiology-national-diagnostic-reference-levels-ndrls/national-diagnostic-reference-levels-ndrls#fnref:2>
5. Wachabauer D, Röthlin F. Aktualisierung der diagnostischen Referenzwerte für Österreich. Wien; 2017.
6. Norwegian Radiation Protection Authority (Norway), 2018
7. Swedish Radiation Safety Authority (Sweden), 2019
8. Japan Network for Research and Information on Medical Exposures. Diagnostic Reference Levels Based on Latest Surveys in Japan — Japan DRLs 2015. 2015.

Establishing Diagnostic Reference Levels for Chest X-ray Diagnosis

Ana Pitskhelauri, Nino Esvanjia, Lasha Kutateladze

a.pitskhelauri@gtu.ge, esvanjia@gmail.com, kutateladze.l@gtu.ge

Georgian Technical University

Abstract

Modern medicine is unthinkable without radiological diagnostics. Medical diagnostics involves high-resolution visualization of organs and tissues, which is associated with certain radiation risks. This is precisely what has led to the determination of the Diagnostic Reference Level (DRL) becoming a topical issue, which is required by both international and Georgian legislation for national X-ray diagnostic protocols for Georgia. The definition of DRL ensures patient safety, quality assurance, economic benefit, regulatory compliance, and technological advancement.

In order to optimize radiation safety for patients in Georgia, we have piloted the definition of DRL for the X-ray diagnostic protocol. In particular, a tool was created in the MATLAB environment, using which it became possible to determine the DRL for a specific radiological procedure - the chest radiological protocol. Using the created tool, many chest radiographs (visual material) were processed and the results were obtained.

Keywords: X-ray diagnostics, diagnostic reference level.

Systemic Analysis of Factors Affecting Organizational Systems: A Case Study of the Development of Conflict-Affected Regions

Zurab Gasitashvili, Mzia Kiknadze, Tea Todua

Georgian Technical University

zur_gas@gtu.ge, m.kiknadze@gtu.ge, tea_todua@gtu.ge

Abstract

In contemporary organizational systems, particularly in conflict-affected regions, the decision-making process becomes even more complex due to high environmental instability, unpredictability of political, social, and economic factors, and the nonlinear dynamics of processes. Under such conditions, traditional management approaches often fail to ensure adequate situation assessment and optimal decision-making. To address these challenges, it is essential to employ systems modeling methodologies that enable understanding of complex system behavior, identification of interconnections, and formalization of the decision-making process.

The article examines a systems modeling methodology based on goal structuring, ranking, and weighting mechanisms. The use of cognitive maps is proposed, which enables visualization of interdependencies between system elements and identification of influence directions. Through this approach, it becomes possible to analyze different scenarios and conduct preliminary assessment of decision outcomes.

Keywords: System Modeling, Cognitive Map, Decision Making

1. Introduction

To study the management of an organizational system, it is necessary to analyze the factors (development indicators) and their influence on the main criteria of regional development. Because there are so many criteria, simulation experiments involve an extremely large number of possible scenarios. This work aims to identify a subspace of highly significant factors-those with the greatest impact-from the full set of organizational system factors. This subspace serves as a foundation for studying the economics of organizational system development, which is a current and important issue.

To achieve these goals, modeling of socio-political situations is used effectively. The study covers the construction of the model, testing it with different experimental approaches, and analyzing economic sustainability based on managerial influence.

In organizational systems, during the management process, the necessity of decision-making often arises. In such systems, the laws and regularities of situation development are mainly described qualitatively. However, there are circumstances in which the dynamics of processes do not follow established patterns, making forecasting difficult.

In the decision-making process, an important role is played by experts and analysts, who rely on their experience, professional intuition, and empirical knowledge. They assess the situation, determine possible alternatives, and choose optimal solutions, taking into account existing constraints and available resources.

For the creation, development, and effective implementation of an organizational system, its prior analysis and modeling are of decisive importance. Modern large-scale and complex systems have created the necessity to introduce modeling methods that reveal the relationships between interdependent

factors and assess goal-oriented behavior. Modeling takes into account not only the formal description of the system's elements but also the modeling of interactions between them.

2. Research Methodology

Building on the analysis of organizational systems and the role of experts in decision-making, the modeling of these systems can be structured into several main stages. These stages include the identification of system goals, the structuring of goals into a hierarchical goal tree, the ranking and weighting of goals, and the creation of cognitive maps to reveal interdependencies.

The modeling process includes several main stages:

- Identification of system goals
- Structuring of goals (construction of a goal tree)
- Ranking and weighting of goals
- Creation of cognitive maps to identify interdependencies.

The identification of objectives represents the initial stage that defines the direction and priorities of an organizational system. The structuring of objectives ensures their hierarchical organization, which facilitates multi-level analysis of system behavior. Furthermore, the use of cognitive maps makes it possible to reveal cause-and-effect relationships among objectives, as well as to determine the strength and direction of their influence.

In the analysis of complex organizational systems, it is possible to identify a wide spectrum of objectives and factors that determine the directions and outcomes of system development.

For the structuring of objectives - that is, for creating a structured informational model - the main (global) objective is identified, denoted as C_0 . It represents the assessment of the effectiveness of internal-state regulation of conflicts and is assigned to the zero level. At the next stage, the global objective is decomposed into sub-objectives. The first-level indicators are C_1 (political), C_2 (social), and C_3 (economic). At the second level, each sub-objective is further decomposed into smaller sub-objectives (C_{11} , C_{12} , ..., C_{21} , ..., C_{31} , etc.).

Table 1. Example of Goal Decomposition (Fragment)

Denote	Description
C_0	Effectiveness of intra-state conflict regulation
C_1	Political Indicator
C_2	Social Indicator
C_3	Economic Indicator
C_{11}	Mutually opposing geopolitical orientations
	...
	...
C_2	Cultural and civilizational cleavage
C_{211}	Value orientation among various social and ethnic groups within a single state

The goal tree representing the above-mentioned goals and sub-goals will appear as follows (fragment) (see Fig. 1).)

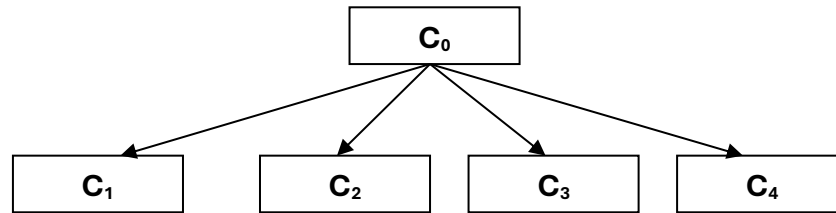


Figure 1. Goal tree representing goals and sub-goals (fragment)

At the next stage, weights are assigned to the system's goals. To determine the importance of each goal, linguistic evaluations are used, which are then converted into numerical scores within the interval [1–10] (Table 2).

Table 2. Linguistic assessments and their corresponding numerical scores

Linguistic values	Numerical (scores) values
When C_i and C_j have the same significance	1
When C_i is weakly dependent on the value of C_j	3
When C_i is strongly dependent on the value of C_j	5
When C_i is very strongly dependent on the value of C_j	7
Absolute dependence of C_i on the value of C_j	9
The assessment lies between two linguistic evaluations	2,4,6,8

AI facilitates the automatic construction of cognitive maps, where the interactions between goals are calculated based on statistical and textual data. The achievability of the global goal (C_0) is determined using the weights of sub-goals and influence indicators:

For each fragment of the goal tree, starting from zero, construct a square matrix $R=||r_{ij}||$.

The columns of the matrix correspond to the nodes of the tree. In the top cell of the left column, the weight of the root node is given (C_0 for the global goal with weight $W_0 = 1$). At the intersection of row C_i and column C_j , the value of r_{ij} is assigned. This value is 1 if $C_i = C_j$. If C_i is more important than C_j , then the value b_{ij} is assigned; otherwise, if C_i is less important than C_j , the value $1/b_{ij}$ is assigned.

Assume that the rows (and columns) of the matrix correspond to the goals $C_1, \dots, C_p$, weighted by $W_1, \dots, W_p$. The root node has weight W_0 . Then the following condition holds:

$$W_q = \sum_{i=1}^p W_i \quad (1)$$

The weights W_1 represent the solution of the following system of equations:

$$w_I = \frac{1}{p_I} \sum_{j=1}^p r_{Ij} W_j \quad (2)$$

$$w_{p-1} = \frac{1}{p} \sum_{j=1}^p r_{p-1,j} W_j$$

$$w_{p-1} = \frac{1}{p} \sum_{j=1}^p r_{p-1,j} W_j$$

The tree corresponding to zero-level rank for factors affecting sustainable development is (C_0 , C_1 , C_2 , C_3 , C_4) (Fig. 2).

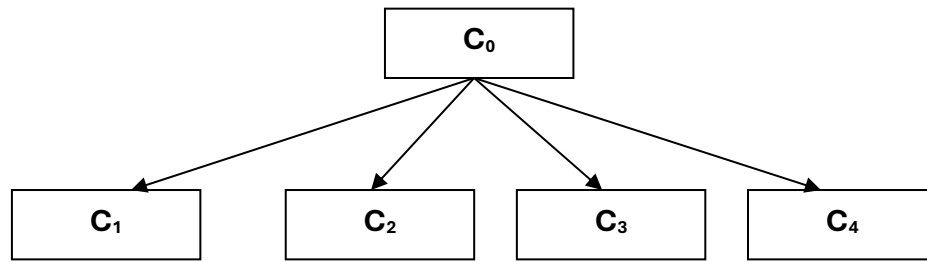


Figure 2. Zero-rank tree

At the next stage, it is necessary to minimize the system's local goals. Since there may be a large number of simple goals and factors, it is required to carry out quantitative evaluations and ranking of the most significant goals and factors to select the most effective ones. To construct a cognitive map of the interdependence of local goals, it should be taken into account that the columns and rows of the table correspond to the local goals. Based on the analysis and agreement with experts, a cognitive map is obtained, which for the given fragment has the following form (Fig. 3).

მიზნები	C_1	C_2	C_3	C_4	C_{11}	C_{12}	C_{13}	C_{14}	C_{15}	C_{21}	C_{22}	წონები
C_1	+1,				+0,	-0,7	+0,	+0,	+0,			0.5000
C_2		+1,								+0,	0	0.2778
C_3			+1,									0.1543
C_4				+1,	0	0	0	0	0			0.0679
C_{11}	-0,5	0	0	0	+1,	0	0	0	0			0.2143
C_{12}	+0,	0	0	0		+1,						0.1327
C_{13}	+0,	0	0	0	0	0	+1,					0.0821
C_{14}	+0,	0	0	0		0		+1,				0.0508
C_{15}	+0,				0	0	0	0	+1,			0.0201

Figure 3. Cognitive map (fragment)

To determine the interactions between goals on the cognitive map, numerical indicators are introduced - the degree of achievability of the global goal (C_0) and local goals (C_j), which for the fragment of the zero-level goal tree under consideration has the following form:

$$\begin{aligned}
 (C_0) &= \sum_{j=1}^N (\alpha_{11} + \alpha_{12} + \alpha_{13} + \alpha_{14}) \cdot W_i \\
 &= (\alpha_{11} + \alpha_{12} + \alpha_{13} + \alpha_{14}) \cdot W_1 + (\alpha_{11} + \alpha_{12} + \alpha_{13} + \alpha_{14}) \cdot W_2 + (\alpha_{11} + \alpha_{12} + \alpha_{13} + \alpha_{14}) \cdot W_3 + (\alpha_{11} + \alpha_{12} + \alpha_{13} + \alpha_{14}) \cdot W_4 = 3,5101
 \end{aligned}$$

After performing the above calculations $J(C_0)=3,501$,

The degree of achievement of goal subsets, taking their interdependencies into account, is expressed by the formula:

$$J(C^*) = J(c_{ji}) + \dots + J(c_{jk})$$

Let the maximum allowable value of $J(C^*)$ be denoted by Δ . In the case under consideration, it is equal to 0.2101.

The minimization problem can be formulated as follows: we need to find C^* such that the following conditions are simultaneously satisfied:

$$\begin{aligned} J(C^*) &\leq \Delta \\ |C^*| &= \max \end{aligned}$$

Taking the above calculations into account, we obtain the result of minimizing the local goals as $E = \{b_1, b_2, b_3, b_4, b_5, b_6, b_7, b_8\}$, which means that, out of more than 150 factors, the more significant ones are selected.

3. Conclusion.

This study presents systems modeling methodology for managing organizational systems, particularly in the context of conflict-affected regional development. The research findings demonstrate that the application of goal structuring, ranking, and weighting methods, combined with the use of cognitive maps, enables effective analysis of complex organizational systems and the identification of the most significant factors influencing their development. The proposed approach provides an effective tool for analyzing and managing complex organizational systems, especially in situations where traditional methods fail to ensure adequate assessment and optimal decision-making.

References:

1. Bryson, J. M. (2018). *Strategic Planning for Public and Nonprofit Organizations*. Hoboken: John Wiley & Sons.
2. M. Kiknadze, T. Todua, T. Zhvania, D. Kapanadze. Analysis of factors affecting organizational systems, by using the example of the development of conflict regions. Materials of scientific practical conference: Innovative processes in the scientific environment Prague, 2021.
3. Archil Prangishvili, Oleg Namicheishvili, Zhuzhuna Gogiashvili, Mzia Kiknadze Deep Learning with Encouragement under Constraints, Bulletin of the Georgian National Academy of Sciences „MOAMBE”, Vol.17, n.3, 2023,
4. Z.gasitashvili, M. kiknadzeT. zhvania, D. Kapanadze, Factors Affecting Sustainable Development And Modelling, Contemporary Business Challenges in a Globalized World (v.3) 2023
5. Z.Gasitashvili, T.Zhvania, D. Kapanadze.. M. Kiknadze, Factors Affecting Sustainable Development And Modelling, Springer, Cham, v.343 030-63591-6_61, 2021

ხელოვნური ინტელექტის მეთოდების გამოყენება წყლის რესურსების ეფექტიანი მართვისთვის

მზია კიკნაძე, ნატალია გაბაშვილი, ეკატერინე ბოჭორიძე

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

m.kiknadze@gtu.ge, n.gabashvili@gtu.ge, e.bochoridze@gtu.ge

რეზიუმე

კლიმატის ცვლილება, მოსახლეობის ზრდა და ურბანიზაცია ქმნის მნიშვნელოვან გამოწვევებს წყლის რესურსების მართვის პროცესში. ტრადიციული მეთოდები ხშირად ვერ ასახავს ჰიდროლოგიური და კლიმატური პროცესების სირთულეს, რის გამოც საჭიროა ინოვაციური მიდგომების დანერგვა. ხელოვნური ინტელექტი (AI) წარმოადგენს ეფექტიან ინსტრუმენტს წყლის რესურსების მონიტორინგისა და პროგნოზირებისათვის. სტატია განიხილავს AI-ის მეთოდების გამოყენებას წყლის რაოდენობისა და ხარისხის ზუსტი პროგნოზირებისთვის.

კვლევის ფარგლებში ნაჩვენებია, რომ AI ტექნოლოგიები საშუალებას იძლევა ინტეგრირდეს სხვადასხვა წყაროდან მიღებული მონაცემები (მეტეოროლოგიური, ჰიდროლოგიური, სატელიტური და IoT სენსორების), რაც ზრდის პროგნოზების სანდოობას.

შედეგები ცხადყოფს, რომ ხელოვნური ინტელექტის ინტეგრაცია წყლის რესურსების მართვაში არა მხოლოდ ზრდის გადაწყვეტილებების სიზუსტესა და ეფექტიანობას, არამედ ხელს უწყობს მდგრადი განვითარების სტრატეგიების განხორციელებას. ეს ქმნის წინაპირობას წყლის რესურსების სამართლიანი განაწილებისა და ეკოლოგიური უსაფრთხოების დაცვისათვის გლობალურ დონეზე.

საკვანძო სიტყვები: ხელოვნური ინტელექტი, წყლის რესურსები, პროგნოზირება, მანქანური სწავლება, ნეირონული ქსელები

1. შესავალი.

წყლის რესურსების ეფექტიანი მართვა წარმოადგენს გლობალურ გამოწვევას, რომლის მნიშვნელობა განსაკუთრებით იზრდება კლიმატის ცვლილებისა და მოსახლეობის ზრდის პირობებში. გარემოს დინამიკური ცვლილებები, ნალექების არათანაბარი განაწილება და ჰიდროლოგიური ციკლის დარღვევები ქმნის სერიოზულ რისკებს როგორც ეკოლოგიური, ისე სოციალურ-ეკონომიკური მდგრადობისთვის. აღნიშნული პროცესები საჭიროებს თანამედროვე, მონაცემებზე დაფუძნებულ მიდგომებს, რომლებიც უზრუნველყოფენ წყლის რაოდენობისა და ხარისხის ზუსტ პროგნოზსა და ოპტიმალურ განაწილებას [1].

მოსახლეობის ზრდა, კლიმატის ცვლილება და ურბანიზაცია ზეწოლას ახდენს არსებულ წყალმომარაგების სისტემებზე, რაც აუცილებელს ხდის ინოვაციური მეთოდების დანერგვას. თანამედროვე ტექნოლოგიები, განსაკუთრებით ხელოვნური ინტელექტი (AI), ქმნის ახალ შესაძლებლობებს წყლის რესურსების მონიტორინგისა და ოპტიმალური გამოყენებისთვის.

ხელოვნური ინტელექტის (AI) ტექნოლოგიები იძლევა შესაძლებლობას რეალურ დროში დამუშავდეს მეტეოროლოგიური, ჰიდროლოგიური, სატელიტური და სენსორული მონაცემები. ხელოვნური ინტელექტის ალგორითმები, მათ შორის მანქანური სწავლება, ღრმა ნეირონული ქსელები და კომპიუტერული ხედვა, იძლევა მაღალი სიზუსტით პროგნოზის

შესაძლებლობას, ადგენს რთულ კავშირებს სხვადასხვა ფაქტორებს შორის და უზრუნველყოფს წყლის რესურსების მართვის პროცესის ოპტიმიზაციას.

AI-ზე დაფუძნებული მიდგომები არა მხოლოდ ხელს უწყობს წყალდიდობისა და გვალვის რისკების დროულ შეფასებას, არამედ ეფექტიანად ახორციელებს წყლის ხარისხის მონიტორინგს, დაბინძურების წყაროების იდენტიფიკაციასა და გრძელვადიანი კლიმატური ტენდენციების გათვალისწინებას. შედეგად, ხელოვნური ინტელექტის ინტეგრაცია ჰიდრომეტეოროლოგიურ ანალიზში წარმოადგენს მნიშვნელოვან ნაბიჯს მდგრადი განვითარების სტრატეგიების ჩამოყალიბებისა და წყლის რესურსების სამართლიანი განაწილების მიმართულებით.

2. ძირითადი ნაწილი.

1. მონიტორინგი და პროგნოზირება. მონიტორინგი და პროგნოზირება წარმოადგენს წყლის რესურსების მართვის სისტემის ფუნდამენტურ კომპონენტს, რომელიც განსაზღვრავს როგორც მოკლევადიან, ისე გრძელვადიან სტრატეგიულ გადაწყვეტილებებს. ტრადიციული მეთოდები მეტწილად ეფუძნება სტატისტიკურ ანალიზს და ემპირიულ მონაცემებს, რაც ხშირად ვერ ასახავს კლიმატური და ჰიდროლოგიური პროცესების კომპლექსურ და არაწრფივ ბუნებას. სწორედ აქ იძენს მნიშვნელობას ხელოვნური ინტელექტის (AI) მეთოდების ინტეგრაცია, რომელიც საშუალებას იძლევა სხვადასხვა წყაროებიდან აღებული მონაცემების (მეტეოროლოგიური სადგურები, ჰიდროლოგიური ობიექტები, სატელიტური სურათები, IoT სენსორები) ერთიანად დამუშავება და მოდელირება. ხელოვნური ინტელექტის საშუალებით შესაძლებელია [2,3]:

- **წყლის დონის ცვლილებების პროგნოზირება,** მდინარეთა და ტბების დინამიკის ანალიზის საფუძველზე.
- **ნალექების სეზონური ცვალებადობის გათვალისწინება.** რაც განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია სარწყავი სისტემებისა და ჰიდროენერგეტიკის დაგეგმვის პროცესში.
- **წყალდიდობისა და გვალვის რისკების შეფასება** ხდება ისტორიული და რეალური დროის მონაცემების ინტეგრირებული მოდელირების გზით.
- **კლიმატური ტენდენციების გრძელვადიანი შეფასება.** რაც საშუალებას იძლევა ჩამოყალიბდეს მდგრადი რესურსების მართვის სტრატეგიები.

კვლევებში ხშირად გამოიყენება მანქანური სწავლების მოდელები (წრფივი რეგრესია, Random Forest), ღრმა ნეირონული ქსელები და კომპიუტერული ხედვის მეთოდები. მათი დახმარებით შესაძლებელია რთული კავშირების იდენტიფიცირება, მყინვარების დნობისა და გვალვების ზუსტი განსაზღვრა, ასევე სატელიტური და დრონებით მიღებული მონაცემების ინტერპრეტაცია ხელოვნური ინტელექტის გამოყენებით.

2. რესურსების ოპტიმიზაცია. წყლის რესურსების ოპტიმიზაცია ერთ-ერთ ყველაზე კრიტიკულ ამოცანას წარმოადგენს თანამედროვე ეკონომიკური და ეკოლოგიური განვითარების პირობებში. ხელოვნური ინტელექტის გამოყენება ამ პროცესში მნიშვნელოვნად ზრდის ეფექტიანობას, ვინაიდან შესაძლებელს ხდის წყლის განაწილებისა და მოხმარების პროცესის დეტალურ ანალიზსა და დანაკარგების მინიმიზაციას.

- **სოფლის მეურნეობაში** - AI-ს გამოყენება განსაკუთრებულ როლს ასრულებს სარწყავი სისტემების მართვაში. ნიადაგის ტენიანობის, ნალექების და ტემპერატურის მონაცემების ანალიზის საფუძველზე, ალგორითმები განსაზღვრავენ სარწყავი რეჟიმის ოპტიმალურ პარამეტრებს. შედეგად, მცირდება წყლის ზედმეტი ხარჯვა და

იზრდება მოსავლიანობა, რაც პირდაპირ აისახება აგრარული სექტორის მდგრადობაზე.

- **ენერგეტიკაში** - განსაკუთრებით ჰიდროელექტროსადგურების ოპერირებაში, AI გამოიყენება მდინარეთა დინების პროგნოზისა და ჰიდროლოგიური ციკლის მოდელირებისთვის. ეს უზრუნველყოფს ელექტროენერგიის გამომუშავების ოპტიმალურ რეჟიმს, რესურსების ზედმეტი ხარჯვის შემცირებას და ეკოლოგიური ბალანსის შენარჩუნებას.

რესურსების ოპტიმიზაციაში ხელოვნური ინტელექტის გამოყენება არა მხოლოდ ეკონომიკურ სარგებელს ქმნის, არამედ უწყობს ხელს ბუნებრივი გარემოს შენარჩუნებასა და ეკოლოგიური მდგრადობის უზრუნველყოფას.

3. გადაწყვეტილების მიღების მხარდაჭერა. წყლის რესურსების მართვა მოითხოვს ეკონომიკური, ეკოლოგიური და სოციალური ფაქტორების გათვალისწინებას. AI ამ პროცესში მოქმედებს როგორც ანალიტიკური მექანიზმი:

- აფასებს წყლის მოხმარების სარგებელსა და ზიანს სხვადასხვა სექტორში;
- ქმნის სცენარიულ პროგნოზებს კლიმატური პირობების გათვალისწინებით (გვალვა, წყალდიდობა, ჭარბი ნალექი);
- ამცირებს გათვალისწინებულ რისკებს და ზრდის სტრატეგიული დაგეგმვის სიზუსტეს.

4. წყლის ხარისხის კონტროლი. წყლის რაოდენობასთან ერთად უმნიშვნელოვანესია მისი ხარისხის უზრუნველყოფა. AI გამოიყენება როგორც მონიტორინგისთვის, ისე პრევენციული ღონისძიებების დასაგეგმად:

- დაბინძურების წყაროების იდენტიფიკაციისთვის (pH, ტემპერატურა, მძიმე მეტალები, ტოქსიკური ნივთიერებები);
- რეალურ დროში მონაცემების დამუშავებისთვის IoT სენსორების დახმარებით;
- სატელიტური დაკვირვების საფუძველზე ეკოლოგიური პრობლემების (წყალმცენარეების ჭარბი გავრცელება, ნაპირების ეროზია) დროულად იდენტიფიკაციისთვის;
- პროგნოზირებადი მოდელების შესაქმნელად, რომლებიც მომავალ რისკებს ითვალისწინებს.

ხელოვნური ინტელექტის ალგორითმების გამოყენება

• **Machine Learning (ML):** წრფივი რეგრესია და Random Forest ეფექტიანია მდინარეთა დინების პროგნოზში, ასევე წყალმცირებისა და წყალუხვობის რისკების შეფასებაში.

• **ნეირონული ქსელები:** იდენტიფიცირებენ რთულ და არაწრფივ კავშირებს, რაც განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია გრძელვადიანი კლიმატური ცვლილებების ანალიზში.

• **კომპიუტერული ხედვა (CV):** CNN-ის გამოყენებით ხდება სივრცითი მონაცემების ავტომატური ინტერპრეტაცია (ტბებისა და მდინარეების ფართობის ცვლილება, მცენარეების დნობა, გვალვების მასშტაბი).

განვიხილოთ წყლის ხარისხის პროგნოზირების ალგორითმი მანქანური სწავლების გამოყენებით.

წყლის ხარისხის პროგნოზირება წარმოადგენს ეკოლოგიური უსაფრთხოების და მდგრადი განვითარების ერთ-ერთ უმნიშვნელოვანეს ამოცანას. ხელოვნური ინტელექტის მეთოდები, განსაკუთრებით მანქანური სწავლება, საშუალებას იძლევა დამუშავდეს მრავალი წყაროდან მიღებული მონაცემები. ანალიზის საფუძველზე შეფასდეს გარემოს მდგომარეობა და დროულად მოხდეს რისკების გამოვლენა.

1. მონაცემთა შეგროვება (Data Collection). ალგორითმის კონცეპტუალური საფუძველი ეფუძნება მონაცემთა მრავალფეროვანი წყაროებიდან მიღებული ინფორმაციის ინტეგრირებასა და ანალიტიკურ დამუშავებას. პროგნოზირების სიზუსტე მნიშვნელოვნად დამოკიდებულია როგორც ისტორიული, ისე რეალურ დროში შეგროვებული მონაცემების სინთეზზე, რაც საშუალებას იძლევა გარემოს დინამიკის უფრო სრულყოფილი შეფასება განხორციელდეს.

პროგნოზირების მოდელში გათვალისწინებულია შემდეგი ძირითადი პარამეტრები:

- **pH დონე** - წარმოადგენს წყლის მჟავიანობისა და ტუტეობის ბალანსის მნიშვნელოვან ინდიკატორს, რომლის მერყეობა მიუთითებს ეკოსისტემის ქიმიური სტაბილურობის ცვლილებებზე;
- **ტემპერატურა** - მოქმედებს როგორც ბიოქიმიურ პროცესებზე, ისე ჟანგბადის ხსნადობაზე წყალში, რაც განაპირობებს მიკრობიოლოგიური აქტივობის ინტენსივობას;
- **გაზსანილი ჟანგბადი (DO)** - წარმოადგენს ერთ-ერთ მთავარ პარამეტრს წყლის ეკოსისტემის სიცოცხლისუნარიანობის შესაფასებლად; მისი შემცირებული დონე ხშირად ასოცირდება ანოქსიურ პირობებსა და დაბინძურების მაღალი რისკით;
- **ტოქსიკური ნივთიერებები** - მოიცავს მძიმე მეტალებს (მაგალითად, ტყვია, მერკური), პესტიციდებსა და სხვა ქიმიურ დამაბინძურებლებს, რომლებიც ზემოქმედებენ როგორც წყლის ხარისხზე ისე ბიო მრავალფეროვნებაზე.
- **ნალექები** - ატმოსფერული ნალექის ინტენსივობა განსაზღვრავს ზედაპირული ჩამონადენის მოცულობას, რაც მნიშვნელოვანწილად განაპირობებს დაბინძურების გავრცელების მასშტაბს.

2. მონაცემთა დამუშავება (Data Preprocessing). მონაცემთა ხარისხი წარმოადგენს პროგნოზირების მოდელის სიზუსტისა და საიმედოობის ერთ-ერთ მნიშვნელოვან ფაქტორს. პრაქტიკაში შეგროვებული მონაცემები ხშირად შეიცავს ხარვეზებს, დუბლირებას ან შეცდომით დაფიქსირებულ მნიშვნელობებს, რაც ართულებს მოდელის სწორ ფუნქციონირებას. შესაბამისად, მონაცემთა წინამომზადების ეტაპი აუცილებელია მათი სტრუქტურირებისა და ანალიტიკური გამოყენებისათვის. მონაცემთა დამუშავების ძირითადი პროცესები მოიცავს:

- **დაკარგული მონაცემების შევსება (Imputation)** – მონაცემთა ნაკრებში არსებული ცარიელი მნიშვნელობები ჩანაცვლდება სტატისტიკური ან ალგორითმული მეთოდებით, მაგალითად, საშუალო ან მედიანური მნიშვნელობებით, ან K-უახლოესი მეზობლის (KNN) ალგორითმის მეშვეობით, რაც უზრუნველყოფს მონაცემთა მთლიანობას;
- **ჭარბი მნიშვნელობების აღმოჩენა (Outlier Detection)** – ამ ეტაპზე ხდება ისეთი უკიდურესი მნიშვნელობების იდენტიფიცირება და მოცილება, რომლებიც შეიძლება წარმოიშვას გაზომვის ან მონაცემთა შეგროვების შეცდომის შედეგად.
- **მონაცემების ნორმალიზაცია**, ყველა პარამეტრი მოყვანილია ერთიან მასშტაბზე (მაგალითად, $[0,1]$ დიაპაზონში), რაც თავიდან იცილებს ცვლადებს შორის გავლენის არათანაბრობას და უზრუნველყოფს მოდელის სწორი სწავლების პროცესს.

3. მოდელის არჩევა და ვარჯიში (Model Selection and Training). მოდელის არჩევისა და ვარჯიშის ეტაპი წარმოადგენს პროგნოზირების სისტემის შემუშავების ცენტრალურ ფაზას, რომლის მიზანია ისეთი ალგორითმის შერჩევა, რომელიც მაქსიმალურად ზუსტად ასახავს

მონაცემთა შაბლონებსა და დამოკიდებულებებს. ამ პროცესში გამოიყენება დამუშავებული და ნორმალიზებული მონაცემები, რაც წარმოადგენს მოდელის სწორი სწავლების საფუძველს.

მოდელის არჩევა (Model Selection) - ამ ტიპის პროგნოზირების ამოცანებში ფართოდ გამოიყენება Random Forest და Gradient Boosting Machine (GBM) ალგორითმები. რომლებიც გამოირჩევიან მაღალი სიზუსტითა და მდგრადობით მონაცემთა ვარიაციებისა და ხმაურის მიმართ [4].

მოდელის მიზანია ფუნქციის $y = f(x_1, \dots, x_n; \theta)$ შექმნა, რომელიც ასახავს რეალურ მონაცემებს. მასში:

$x_1, \dots, x_n$; შესატანი პარამეტრებია, როგორიცაა pH, ტემპერატურა, ჟანგბადი, ტოქსიკური ნივთიერებები, ნალექი);

θ — მოდელის პარამეტრებია

y -პროგნოზირებული შედეგი

- **Random Forest ალგორითმი** წარმოადგენს ისეთ მეთოდს, რომელიც აგებს მრავალ დამოუკიდებელ გადაწყვეტილების ხეს (Decision Tree). თითოეული ხე ქმნის ნაწილობრივ პროგნოზს, ხოლო საბოლოო შედეგი მიიღება მათი საშუალო მნიშვნელობის გამოთვლით. ასეთი მიდგომა მნიშვნელოვნად ამცირებს ზედმეტი მორგების (**Overfitting**) რისკს და ზრდის მოდელის გენერალიზაციის უნარს;

- **Gradient Boosting Machine (GBM)** აგებს გადაწყვეტილების ხეებს თანმიმდევრულად, სადაც ყოველი ახალი ხე მიზნად ისახავს წინა ხეების შეცდომების კორექციას. შედეგად მიიღება მოდელი, რომელიც ახასიათებს მაღალი საპროგნოზო სიზუსტე და ადაპტირებადობა მონაცემთა რთულ სტრუქტურებთან.

მოდელის დასწავლა (Training) დასწავლის პროცესი მოიცავს მონაცემთა ნაკრების გაყოფას ორ ნაწილად:

- **საწვრთნელი ნაკრები (Training Set)**, რომელიც გამოიყენება მოდელის პარამეტრების დასახვეწად და შიდა შაბლონების ამოსაცნობად;

- **სატესტო ნაკრები (Testing Set)**, რომელიც გამოიყენება მოდელის საბოლოო შეფასებისთვის, რათა დადგინდეს, რამდენად ეფექტიანად ახერხებს ის ახალი, აქამდე უცნობი მონაცემების პროგნოზირებას.

ასეთი მიდგომა უზრუნველყოფს მოდელის ზოგადუნარიანობის შეფასებას და თავიდან იცილებს ზედმეტ მორგების რისკს, რაც მნიშვნელოვანია რეალურ პირობებში პროგნოზირების სანდოობისთვის.

4. მოდელის შეფასება (Model Evaluation). მოდელის შეფასება წარმოადგენს კრიტიკულ ეტაპს პროგნოზირების სისტემის განვითარების პროცესში, რადგან საშუალებას აძლევს განსაზღვროს მოდელის სიზუსტე, საიმედოობა და ზოგადუნარიანობა. ამ ეტაპზე ხდება შეფასება არა მხოლოდ სასწავლო მონაცემებზე, არამედ სატესტო და ხოლმე ვალიდაციის ნაკრებზეც, რაც უზრუნველყოფს რეალურ პირობებში მოდელის მოქნილობას.

მოდელის ხარისხის შეფასების ანალიზისთვის გამოიყენება შემდეგი ძირითადი პარამეტრები[4]:

- **სიზუსტე (Accuracy)**, განსაზღვრავს მოდელის მიერ სწორად პროგნოზირებული შემთხვევების წილს საერთო პროგნოზებთან მიმართებაში;

$$A = \frac{TP + TN}{TP + TN + FP + FN}$$

- **ზუსტობა (Precision)**, აჩვენებს, თუ რამდენად ზუსტია მოდელის დადებითი პროგნოზები. მაგალითად, თუ მოდელით განისაზღვრება, რომ წყალი დაბინძურებულია, რამდენად ხშირად არის ეს პროგნოზი სწორი.

$$P = \frac{TP}{TP + FP}$$

- **სისრულე (Recall)**, აჩვენებს, თუ ყველა რეალური დადებითი შემთხვევის (დაბინძურების) რამდენი პროცენტი აღმოაჩინა მოდელმა.

$$R = \frac{TP}{TP + FN}$$

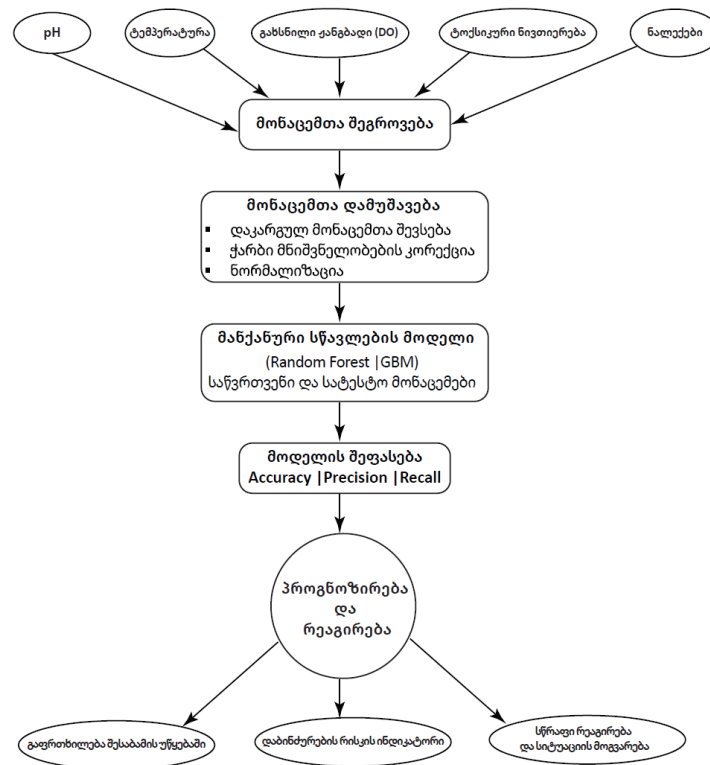
სადაც,

TP- სწორად გამოვლენილი დაბინძურებული შემთხვევები

TN- სწორად გამოვლენილი სუფთა შემთხვევები

FP- მცდარი დადებითი პროგნოზები

FN- აღმოუჩენილი რეალური დაბინძურება



5. პროგნოზირება და რეაგირება (Prediction and Response)

მოდელის შეფასებისა და ვალიდაციის დასრულების შემდეგ, სისტემა მზად არის რეალურ დროში გამოყენებისთვის, რაც საშუალებას იძლევა დროულად გამოავლინოს წყლის ხარისხის ცვლილებები და რეაგირება მოვახდინოთ ეკოლოგიურ საფრთხეებზე.

- **რეალურ დროში პროგნოზირება**, სენსორებიდან მიღებული მონაცემები მუდმივად მიეწოდება მოდელს, რომელიც ახდენს მათ ანალიზს და პროგნოზირებს წყლის ხარისხის სტატუსს.
- **გაფრთხილება**, თუ მოდელი პროგნოზირებს დაბინძურების მაღალ რისკს, იგი ავტომატურად აგზავნის შეტყობინებებს ან გაფრთხილებებს შესაბამის უწყებებს, მაგალითად, გარემოს დაცვის სააგენტოს;

- **რეაგირება**, სააგენტოებს შეუძლიათ დროულად მიიღონ საჭირო ზომები, როგორცაა წყლის ნიმუშების აღება, დაბინძურების წყაროს იდენტიფიცირება და შესაბამისი ღონისძიებების მიღება, რათა თავიდან იქნას აცილებული სერიოზული ეკოლოგიური პრობლემები.

ჩატარებულმა ანალიზმა ცხადყო ხელოვნური ინტელექტის მეთოდების მაღალი პოტენციალი წყლის რესურსების მართვის პროცესში. წარმოდგენილი მასალები მიუთითებს, რომ AI ტექნოლოგიების გამოყენება – იქნება ეს მანქანური სწავლება, ღრმა ნეირონული ქსელები თუ კომპიუტერული ხედვა – მნიშვნელოვნად ზრდის როგორც პროგნოზების სიზუსტეს, ისე გადაწყვეტილების მიღების ეფექტიანობას. სხვადასხვა წყაროდან მიღებული მონაცემების ინტეგრაცია უზრუნველყოფს ჰიდროლოგიური და კლიმატური პროცესების კომპლექსურ ანალიზს, რაც ხელს უწყობს მდგრადი განვითარების სტრატეგიების ჩამოყალიბებას.

ამრიგად, კვლევის შედეგები ნათლად აჩვენებს, რომ ხელოვნური ინტელექტის ინტეგრაცია წყლის რესურსების მართვაში არა მხოლოდ აქტუალური, არამედ გარდაუვალი პროცესია, რომელიც უნდა გახდეს გარემოსდაცვითი და ეკონომიკური პოლიტიკის ერთ-ერთი პრიორიტეტული მიმართულება.

გამოყენებული ლიტერატურა:

1. **Mosavi, A., Edalati, M., Ardabili, S. (2020).** Machine Learning For Water Quality Prediction: A Review. **Applied Sciences.**
2. **Shen, Y., Et Al. (2021).** A Review Of Deep Learning Applications In Water Resources And Hydrology. **Water Research.**
3. **UNESCO World Water Assessment Programme (WWAP).** The United Nations World Water Development Report (ყოველწლიური გამოცემები).
4. https://developers.google.com/machine-learning/crash-course/classification/accuracy-precision-recall?utm_source=chatgpt.com (ბოლოს გადამოწმ. 2025 წლის 20 სექტემბერი)
5. **Vollertsen, J., Et Al. (2018).** Real-Time Monitoring Of Water Quality Using Machine Learning On Sensor Data And Satellite Images. **Journal Of Cleaner Production.**
6. **Hossain, M. S., Et Al. (2022).** Iot And AI-Based Frameworks For Smart Water Management In Smart Cities: A Review. **IEEE Internet Of Things Journal**

Using Artificial Intelligence Methods for Efficient Water Resources Management

Mzia Kiknadze, Natalia Gabashvili, Ekaterine Bochoridze

Georgian Technical University

m.kiknadze@gtu.ge, n.gabashvili@gtu.ge, e.bochoridze@gtu.ge

Abstract

Climate change, population growth, and urbanization pose significant challenges to water resources management. Traditional methods often fail to capture the complexity and nonlinearity of hydrological and climatic processes, necessitating the adoption of innovative approaches. Artificial Intelligence (AI)

represents an effective tool for monitoring and forecasting water resources. This article discusses the application of AI methods—including machine learning, deep neural networks, and computer vision—for accurate prediction of water quantity and quality.

The study demonstrates that AI technologies enable the integration of data from diverse sources (meteorological, hydrological, satellite, and IoT sensors), enhancing the reliability of forecasts. Special attention is given to assessing changes in water levels, seasonal variability of precipitation, flood and drought risk evaluation, as well as water quality control and timely identification of pollution sources.

The results indicate that the integration of AI into water resources management not only increases the accuracy and efficiency of decision-making but also supports the implementation of sustainable development strategies. This creates a foundation for fair allocation of water resources and the protection of ecological safety on a global scale.

Keywords: artificial intelligence, water resources, forecasting, machine learning, neural networks

3D გეომეტრიული აღწერების გამარტივების მეთოდოლოგია ATLAS დეტექტორის ვებ-ვიზუალიზაციისთვის

ბესიკ კეკელია, ალექსანდრე ალიხანოვი

სტუ-ს ბირთვული ინჟინერიის ცენტრი

bkekelia@cern.ch; aleksandr.alikhanov@cern.ch

რეზიუმე

3D მოდელირების ტექნოლოგიები თანამედროვე სამყაროში მნიშვნელოვან როლს ასრულებენ როგორც სამეცნიერო, ასევე საინჟინრო და სასწავლო პროცესებში. კვლევის ფარგლებში შემუშავებულია 3D გეომეტრიული აღწერების გამარტივების მეთოდი, რომელიც მოიცავს ობიექტების ოპტიმიზაციას, პოლიგონების რაოდენობის შემცირებას და ა.შ. შედეგებმა აჩვენა, რომ ATLAS დეტექტორის მოდელების გამარტივება შესაძლებელი გახდა 94%-ით ობიექტების და 98%-ით პოლიგონების თვალსაზრისით, ვიზუალური სიზუსტის შენარჩუნებით. აღნიშნული მიდგომა უზრუნველყოფს მოდელების ეფექტურ გამოყენებას ვირტუალურ და ვებ-ვიზუალიზაციის აპლიკაციებში.

კვლევის მნიშვნელობა მდგომარეობს იმაში, რომ ვიზუალიზაციის მაღალი ხარისხის შენარჩუნება და ოპტიმიზაცია ერთდროულად იშვიათად მიიღწევა. წარმოდგენილი მეთოდოლოგია გვიჩვენებს, როგორ შეიძლება რთული სამეცნიერო მონაცემები გარდაიქმნას უფრო ხელმისაწვდომ და ეფექტურ ვებ აპლიკაციებად.

საკვანძო სიტყვები: 3D მოდელირება, ვიზუალიზაცია, ATLAS დეტექტორი, CAD, ვებ-აპლიკაციები.

1 შესავალი.

თანამედროვე ციფრულ სამყაროში 3D მოდელირება არა მხოლოდ ვიზუალიზაციისა და დიზაინის ინსტრუმენტია, არამედ წარმოადგენს კვლევისა და ინოვაციის საფუძველს. მისი გამოყენება გვხვდება არქიტექტურაში, მანქანათმშენებლობაში, მედიცინაში, კინოში, კომპიუტერულ თამაშებსა და განსაკუთრებით სამეცნიერო ექსპერიმენტებში.

CERN-ში მიმდინარე ექსპერიმენტები, განსაკუთრებით ATLAS, მოითხოვს უზარმაზარი მოცულობის მონაცემთა დამუშავებასა და ვიზუალიზაციას. დეტექტორის მოდელები შეიცავს მილიონობით კომპონენტს, რაც პირდაპირი სახით ვერ მოხვდება ვებ-ბრაუზერში. შესაბამისად, საჭირო ხდება ისეთი მეთოდოლოგიის დამუშავება, რომელიც საშუალებას მოგვცემს, შევძლოთ რთული 3D გეომეტრიული აღწერების ვიზუალიზაცია ვებ ბრაუზერების საშუალებით.

3D მოდელირება მოითხოვს რთულ მათემატიკურ გამოთვლებს, მაგრამ მხოლოდ ეს საკმარისი არ არის. რეალისტური მოდელის შესაქმნელად საჭიროა დიზაინისა და ხელოვნების უნარების სინთეზი. ამიტომ 3D მოდელირება არის არა მხოლოდ ტექნიკური, არამედ შემოქმედებითი პროცესი. ეს გარემოება კიდევ უფრო ზრდის მისი გამოყენების პოტენციალს.

3D მოდელირება ფართოდ გამოიყენება როგორც ვირტუალური რეალობის (VR) და აუგმენტირებული რეალობის (AR) ტექნოლოგიებში, ასევე 3D ვიზუალიზაციის ვებ-აპლიკაციებში [1][2]. ვებ-აპლიკაციები მნიშვნელოვან როლს ასრულებენ 3D გრაფიკის ტექნოლოგიების მასობრივ გავრცელებასა და ხელმისაწვდომობაში. მათ აქვთ რამდენიმე მნიშვნელოვანი უპირატესობა, რომლებიც ხელს უწყობს ამ ტექნოლოგიების პოპულარიზაციას:

- ხელმისაწვდომობა და პლატფორმის დამოუკიდებლობა – ვებ-აპლიკაციები მუშაობს ნებისმიერ მოწყობილობაზე, რომელსაც აქვს ინტერნეტ ბრაუზერი. მომხმარებლებს აღარ სჭირდებათ სპეციალური პროგრამების ინსტალაცია, რაც მნიშვნელოვნად ამარტივებს 3D გრაფიკის გამოყენებას.
- ღირებულება – მრავალი ვებ-აპლიკაცია გვთავაზობს უფასო ან დაბალფასიან მოდელებს, რის გამოც მომხმარებლებს აღარ უწევთ ძვირადღირებული პროგრამული უზრუნველყოფის შეძენა.
- მარტივი განახლება და ტექნიკური მხარდაჭერა – ვებ-აპლიკაციების განახლება ავტომატურად ხდება სერვერზე, რაც მომხმარებლებს უზრუნველყოფს უახლესი ფუნქციებითა და გაუმჯობესებებით, დამატებითი ქმედებების გარეშე.

2. ძირითადი ნაწილი.

3D გეომეტრიული მოდელების გამარტივება ვიზუალიზაციის აპლიკაციებისთვის

3D ვებ-აპლიკაციების განვითარება დაკავშირებულია გარკვეულ სირთულეებთან, განსაკუთრებით მაშინ, როცა საქმე ეხება VR, AR და სხვა ვიზუალიზაციის აპლიკაციებს, რომლებიც მუშაობენ შედარებით დაბალ ფასიან აპარატურაზე. პროცესს კიდევ უფრო ართულებს, თუ საჭიროა აპლიკაციის მასიური ხელმისაწვდომობა ვებ-პლატფორმაზე. მთავარი სირთულეები მოიცავს შემდეგს:

1. ტექნიკური შეზღუდვები – მიუხედავად ვებ-ბრაუზერების პროგრესისა, ისინი ჯერ კიდევ ჩამორჩებიან კომპიუტერულ და მობილურ აპლიკაციებს გრაფიკული წარმადობის თვალსაზრისით. VR და AR აპლიკაციები მოითხოვენ მაღალი ხარისხის 3D გრაფიკას და რეალურ დროში დამუშავებას, რაც განსაკუთრებით ძნელია დაბალი წარმადობის მოწყობილობებზე.
2. პლატფორმის შეზღუდვები – აპლიკაცია უნდა იყოს თავსებადი ყველა ძირითად ბრაუზერზე და მოწყობილობაზე. ეს მოითხოვს სხვადასხვა პლატფორმის თავისებურებების გათვალისწინებას და შესაბამისი ტექნოლოგიების გამოყენებას [3][4].

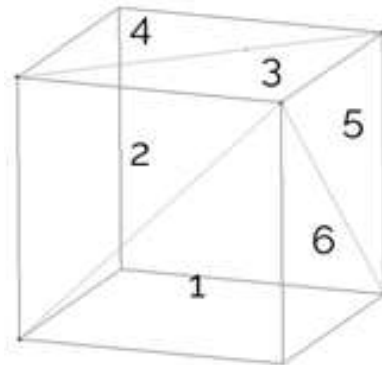
კვლევის ობიექტს წარმოადგენს ვიზუალიზაციის აპლიკაციებისთვის 3D მოდელების გამარტივების მეთოდები. ვებ ბრაუზერები გამოირჩევიან 3D მოდელების ჩატვირთვის ლიმიტებით ცხრ.1. [1]

ცხრ.1 3D მოდელების ჩატვირთვის ლიმიტები

CPU	პოლიგონები
Intel core i3 (8-13 თაობა) ან მისი ანალოგი amd	1-5 მილიონი
Intel core i5 (8-13 თაობა) ან მისი ანალოგი amd	5-10 მილიონი
Intel core i7 (8-13 თაობა) ან მისი ანალოგი amd	10-50 მილიონი
Intel core i9 (8-13 თაობა) ან მისი ანალოგი amd	50-100 მილიონი
Intel core i3 (1-7 თაობა) ან მისი ანალოგი amd	1-3 მილიონი
Intel core i5 (1-7 თაობა) ან მისი ანალოგი amd	3-5 მილიონი
Intel core i7 (1-7 თაობა) ან მისი ანალოგი amd	5-7 მილიონი

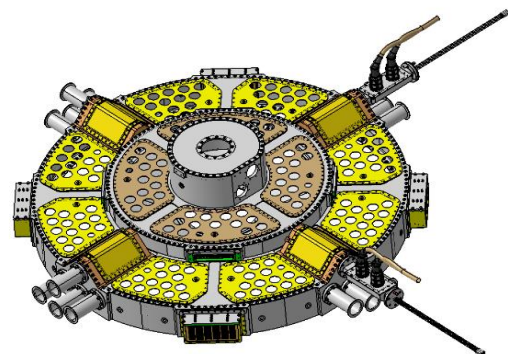
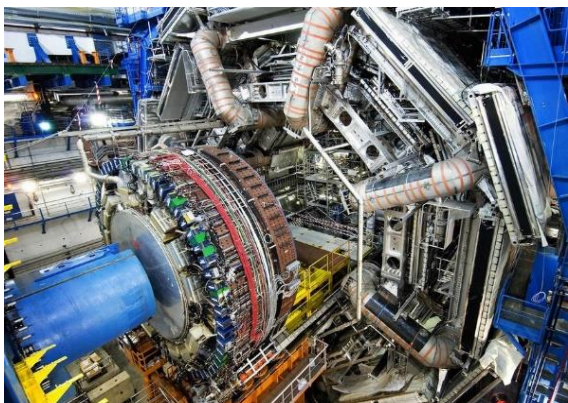
3D მოდელები აგებულია პოლიგონების – სამკუთხედების საშუალებით (ნახ. 1), ხოლო პოლიგონების რაოდენობა პირდაპირ გავლენას ახდენს აპლიკაციის წარმადობაზე. ამიტომ მნიშვნელოვანია მოდელების გამარტივება და პოლიგონების რაოდენობის შემცირება ისე, რომ

არ დაზარალებს მოდელის ვიზუალური იერსახე. ამისთვის საჭიროა ეფექტური გამარტივების მეთოდების გამოყენება. შესაბამისად, ამ მეთოდების შემუშავება წარმოადგენს აქტუალურ კვლევით ამოცანას, რომელიც უზრუნველყოფს 3D ვიზუალიზაციის აპლიკაციების სტაბილურ მუშაობას ვებ-ბრაუზერებში [5].



ნახ. 1

ჩამოთვლილი მეთოდები მნიშვნელოვანია, განსაკუთრებით მაშინ, როცა პროექტი სრულდება CERN-ისთვის (ბირთვული კვლევების ევროპული ორგანიზაცია), სადაც გამოიყენება ატლასის დეტექტორის გეომეტრიული აღწერები. ეს აღწერები ძალიან დეტალურია და ის შეიცავს 47 მილიონ პრიმიტივს [1]. რაც პირდაპირი გამოყენების შემთხვევაში იწვევს მოწყობილობის დატვირთვას და ბრაუზერის ავარიულ გათიშვას.



ნახ.2

პრობლემის თავიდან აცილებისთვის გეომეტრიული აღწერების გამარტივება აუცილებელია. კვლევის ფარგლებში დამუშავდა 3D მოდელის გამარტივების მეთოდი, რომელიც 3 ეტაპისგან შედგება:

1. უხილავი ან ნაკლებად შესამჩნევი ობიექტების ამოღება
2. ფაილის კონვერტაცია Cad ტიპის მოდელიდან მეშის ფორმატში.
3. პოლიგონების შემცირება და პოლიგონალური ბადის შესწორება

პირველი ეტაპი გულისხმობს უხილავი ობიექტების ამოღებას, მაგალითად, ჭანჭიკები, ზამბარები, კონექტორები, რომლებიც მოდელში ფიზიკურად აუცილებელია, მაგრამ ვიზუალში არ ჩანს. მათი ამოღებით მნიშვნელოვნად მცირდება როგორც ობიექტების, ისე პოლიგონების რაოდენობა. ამ ოპერაციამ საშუალება მოგვცა, რომ მოდელი გამარტივდეს ისე, რომ ვიზუალური სიზუსტე იყოს შენარჩუნებული.

მეორე ეტაპი CAD ფაილების კონვერტაციაა. ATLAS დეტექტორის მოდელები ინახება SmarTeam-ზე (საინჟინრო მონაცემთა ბაზა CERN-ში) პროგრამაში. ეს ფაილები გადაყვანილ

უნდა იქნეს ისეთ ფორმატში, რომელიც ვებ აპლიკაციებისთვის მისაღებია (მაგ., wrl, stl, obj). შემდგომი დამუშავება ხდება Blender-ში, სადაც შესაძლებელია მოხდეს ტექსტურების დამატება, მოდელის რენდერინგი და პოლიგონების შემცირება. ეს ნაბიჯი აუცილებელია, რადგან CAD ფაილები ხშირად არ შეესაბამება ვებ ვიზუალიზაციის მოთხოვნებს.

მესამე ეტაპი არის პოლიგონების ოპტიმიზაცია. რთული ობიექტების ზედაპირი ხშირად შედგება მილიონობით პოლიგონისგან. Mesh Reduction ტექნიკებით შესაძლებელია ამ რაოდენობის შემცირება ისე, რომ ვიზუალიზაციის პრაქტიკულად უცვლელი დარჩეს. გარდა ამისა, გამოიყენება ნორმალების გამოთვლა. რათა ვიზუალიზაცია რეალურ დროში უფრო სწრაფად მოხდეს.

მიღებულმა შედეგებმა აჩვენა:

- 94%-იანი შემცირება ობიექტების რაოდენობაში;
- 98%-იანი შემცირება პოლიგონებში;
- მუშაობის სტაბილურობა – მოდელების ვიზუალიზაცია შესაძლებელია 30–60 FPS-ზე სტანდარტულ კომპიუტერზე;
- ვიზუალური სიზუსტის შენარჩუნება – გამარტივებულ მოდელს რეალურ დეტალებთან მიმართებაში პრაქტიკულად არ აქვს განსხვავება;

მიღებული მოდელები უკვე გამოყენებულია CERN-ის Tracer ვებ-აპლიკაციაში, რაც ადასტურებს მეთოდის პრაქტიკულ სარგებელს. შედეგებმა ასევე აჩვენა, რომ ოპტიმიზაცია განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია მობილურ მოწყობილობებისთვის, რადგან მათ აქვთ უფრო შეზღუდული გამოთვლითი რესურსები. გამარტივებული მოდელების გამოყენებამ საშუალება მოგვცა სმარტფონებსა და ტაბლეტებზეც კი სტაბილურად იმუშავოს ვიზუალიზაციის ვებ აპლიკაციებმა.

3. დასკვნა.

კვლევამ დაამტკიცა, რომ რთული სამეცნიერო ობიექტების ვებ-ვიზუალიზაცია სრულიად რეალურია, თუ სწორად იქნება გამოყენებული გეომეტრიული გამარტივების მეთოდები.

გარდა ამისა, კვლევა ქმნის საფუძველს მომავალი ინოვაციებისთვის, რომლებიც დაკავშირებულია VR/AR სისტემებთან, დისტანციურ განათლებასთან და მეცნიერების პოპულარიზაციასთან. ვებ-აპლიკაციების საშუალებით შესაძლებელია სამეცნიერო ინფრასტრუქტურის გაცნობა ფართო საზოგადოებისთვისაც, რაც ხელს უწყობს მეცნიერების ღიაობასა და განვითარების ახალ შესაძლებლობებს.

მეთოდის დამუშავების პროცესში მთავარი გამოწვევა იყო ვიზუალიზაციის ხარისხისა და გამართული მუშაობის ბალანსი. თუ მოდელი ძალიან მარტივდება, დაკარგავს ვიზუალიზაციის ხარისხს, რაც მიუღებელია. ზედმეტად დეტალური მოდელები კი იწვევს FPS-ის მკვეთრ შემცირებას და აპლიკაციის გაჭედვას.

მნიშვნელოვანი ასპექტია ისიც, რომ აღნიშნული მიდგომა შეიძლება გავრცელდეს სხვა სფეროებზეც. მაგალითად, სამედიცინო ვიზუალიზაცია (ორგანოების 3D მოდელირება), არქეოლოგია (უძველესი არტეფაქტების აღდგენა), ინჟინერია (მექანიკური კონსტრუქციების ანალიზი) და განათლება (ვირტუალური ლაბორატორიები). ამიტომ კვლევა არა მხოლოდ კონკრეტული პროექტის ფარგლებშია მნიშვნელოვანი, არამედ ფართო კონტექსტშიც.

გამოყენებული ლიტერატურა:

1. ალექსანდრე ალიხანოვი. “3D გეომეტრიული აღწერების დამუშავების მეთოდები ვიზუალიზაციის აპლიკაციებისთვის”. სტუ. 2025
2. ბესიკ კეკელია, ალექსანდრე ალიხანოვი. 3D გეომეტრიული აღწერების გამარტივების მეთოდების დამუშავება ვიზუალიზაციის აპლიკაციებისთვის. საგამომცემლო სახლი “ტექნიკური უნივერსიტეტი”, 2024. ISBN 978-9941-512-80-3
3. Laurie Annis. Blender 3D for Jobseekers. 2023
4. Jerald, Jason. The VR Book: Human-Centred Design for Virtual Reality. 2016
5. Loeb, Arthur L. Polyhedra: Surfaces or solids. 2013

Methodology for simplifying 3D geometric descriptions for web visualization of the ATLAS detector

Besik Kekelia, Aleksandre Alikhanov

Nuclear Engineering Center, GTU

bkekelia@cern.ch, aleksandr.alikhanov@cern.ch

Abstract

3D modeling technologies play an important role in the modern world in scientific, engineering, and educational processes. In this research, a method for simplifying 3D geometric descriptions has been developed, which includes object optimization, reduction of polygon count, and more. The results showed that simplification of ATLAS detector models is possible by 94% in terms of objects and 98% in terms of polygons, while maintaining visual accuracy. This approach ensures the efficient use of models in virtual and web visualization applications.

The significance of this research lies in the fact that maintaining high visualization quality and achieving optimization simultaneously is rarely possible. The presented methodology demonstrates how complex scientific data can be transformed into more accessible and efficient web applications.

Keywords: 3D modeling, visualization, ATLAS detector, CAD, web applications.

AI-Enhanced DevSecOps for Secure and Compliant CI/CD Pipelines

Iveri Jajanidze

Georgian Technical University

jajanidze.iveri24@gtu.ge

Abstract

Continuous Integration and Continuous Deployment (CI/CD) pipelines have revolutionized software delivery by enabling rapid iterations and reducing release cycles. However, this acceleration of deployment also magnifies risks: insecure code can propagate more quickly, compromised dependencies can infiltrate multiple environments, and automated release processes broaden the attack surface. Traditional, rule-based defenses struggle in such dynamic environments.

This paper introduces an AI-Enhanced DevSecOps framework that strengthens pipeline security through the integration of Explainable AI (XAI), Federated Learning (FL), adversarially resilient malware detection, and AI-augmented defenses against social engineering. By combining these techniques with DevSecOps principles, organizations can achieve both resilience and compliance with regulations such as the GDPR, NIST SP 800-53, and the EU's Digital Operational Resilience Act (DORA). Real-world case studies, including SolarWinds, Mirai Botnet, and phishing simulation research, demonstrate the necessity and practical benefits of such integration. Results highlight measurable improvements in detection accuracy, mean time to resolution, and overall trust in automated security decisions.

Keywords: DevSecOps, CI/CD Security, Explainable AI, Federated Learning, Adversarial Attacks, Compliance

1. Introduction.

In modern software engineering, CI/CD pipelines have become indispensable for delivering code efficiently. Continuous Integration allows developers to merge changes frequently into shared repositories, while Continuous Deployment automates the process of pushing those changes into production environments. This shift has fostered agility, but it has also exposed development ecosystems to unprecedented risks.

The SolarWinds compromise of 2020 exemplifies how software supply chains can be exploited, with attackers embedding malicious code into a vendor's update mechanism, thereby affecting thousands of organizations [1]. The Mirai Botnet of 2016 demonstrated how seemingly trivial vulnerabilities, such as default credentials, can be weaponized at scale [2]. These incidents illustrate that static, pre-defined defenses are insufficient in a landscape where adversaries adapt rapidly and exploit automation itself as a vector of attack.

DevSecOps emerged as a strategy to embed security into every phase of the CI/CD pipeline. Yet this approach must now confront adversaries who themselves employ artificial intelligence to craft polymorphic malware, evade detection, and automate reconnaissance. The logical evolution is AI-Enhanced DevSecOps, a framework that integrates adaptive, explainable, and privacy-preserving AI methods directly into the pipeline.

2. Methodology.

The AI-Enhanced DevSecOps framework builds upon traditional DevSecOps principles but introduces intelligent automation at key stages of the pipeline. The methodology rests on four interrelated pillars: transparency, collaboration, resilience, and human-awareness integration.

Explainable AI (XAI): Machine learning models used in anomaly detection or risk prediction are often criticized as 'black boxes.' Explainable AI addresses this by making their reasoning interpretable. Techniques such as LIME and SHAP allow developers and auditors to understand why a build or deployment was flagged, thus ensuring accountability in accordance with regulations like the GDPR's 'right to explanation' [3].

Federated Learning (FL): Security data is often distributed across different departments or even organizations, yet pooling this data can create privacy risks. Federated Learning allows the development of shared models without exposing raw data. Instead, only aggregated updates are exchanged, which preserves confidentiality while enabling collaboration on threat intelligence [4].

Adversarial Resilience: AI systems themselves are vulnerable to evasion, poisoning, and adversarial examples. To counter this, the framework incorporates adversarial training and ensemble learning [5].

AI-Augmented Social Engineering Defense: Phishing campaigns, enhanced by AI, now generate messages that are contextually tailored and linguistically convincing. Combining natural language processing with phishing simulation exercises, the framework reinforces resilience by both detecting malicious communications and improving user awareness [6].

3. Discussion.

Integrating AI into CI/CD security offers clear benefits but also raises important considerations. On the positive side, automation accelerates the detection of anomalies in logs, APIs, and builds, reducing the mean time to resolution by almost half [7]. Furthermore, XAI provides interpretability that not only assists developers in debugging but also satisfies the stringent requirements of auditors and regulators.

However, the introduction of AI does not eliminate challenges. Adversarial machine learning represents a growing field of attack where threat actors deliberately exploit weaknesses in models [5]. Addressing these vulnerabilities requires constant retraining, monitoring of model drift, and a governance framework that balances innovation with accountability [2].

Another challenge lies in resource constraints. Federated learning and ensemble methods demand significant computational capacity, which may limit adoption in smaller organizations. This creates a gap between enterprises that can operationalize AI-based DevSecOps at scale and those still reliant on traditional security measures.

4. Case Studies.

The practicality of AI-Enhanced DevSecOps becomes evident when applied to high-profile incidents.

The SolarWinds attack (2020) was characterized by insertion of malicious DLL files into build artifacts. Anomaly detection models trained to analyze code provenance and build integrity could have identified unusual insertions before distribution [1].

The Mirai Botnet (2016) exploited weak IoT credentials to mobilize a botnet capable of massive DDoS attacks. AI-driven anomaly detection applied to login behavior and network traffic could have signaled the abnormal surge in device activity and enabled earlier intervention [2].

Recent phishing simulation studies (2024) have shown that simulated training significantly decreases user vulnerability to social engineering [6]. When coupled with AI-based natural language analysis of emails and messages, organizations can achieve a dual line of defense-both technical detection and improved human response.

5. Results.

Empirical research reinforces the benefits of AI-driven DevSecOps. Jajanidze [1] reports that anomaly detection models such as autoencoders and Isolation Forests achieved AUC scores above 0.90 in detecting pipeline anomalies. Mean time to resolution was reduced by approximately 45 percent compared to traditional systems, highlighting tangible operational gains.

Explainable outputs enabled clearer audit trails, supporting compliance with GDPR and DORA. In parallel, phishing simulation research demonstrated a reduction in susceptibility rates of more than 30 percent when users were trained with AI-supported tools [6].

6. Conclusion.

The convergence of AI and DevSecOps represents a decisive step toward securing modern software delivery. CI/CD pipelines, while indispensable for agility, expose organizations to risks that static security controls cannot mitigate. AI-enhanced techniques-explainable models, federated learning, adversarial defenses, and social engineering countermeasures-offer a comprehensive response.

The evidence from case studies and empirical evaluations shows that such approaches improve detection accuracy, accelerate response times, and reinforce compliance. At the same time, challenges remain: adversarial threats evolve continuously, and resource constraints may hinder adoption in smaller organizations.

References:

- [1] I. Jajanidze, The Use of Artificial Intelligence in CI/CD Systems, Georgian Scientific Journals: Computer Science & Telecommunications, 2025.
- [2] C. Cath, et al., Artificial Intelligence and the 'Good Society': The US, EU, and UK Approach, Science and Engineering Ethics, vol. 24, no. 2, pp. 505–528, 2018.
- [3] D. Gunning, et al., XAI-Explainable Artificial Intelligence, Science Robotics, vol. 4, no. 37, 2019.
- [4] H. Yang, et al., Federated Machine Learning: Concept and Applications, ACM Transactions on Intelligent Systems and Technology, vol. 10, no. 2, pp. 1–19, 2019.
- [5] D. Ucci, L. Aniello, and R. Baldoni, Survey of Machine Learning Techniques for Malware Analysis, Computers & Security, vol. 81, pp. 123–147, 2019.
- [6] A. Bichnigauri, I. Kartvelishvili, O. Shonia, D. Bichnigauri, and O. Gudadze, Strengthening Cyber Defenses – The Crucial Role of Phishing Simulation in Modern Security Strategies, Defence and Science, no. 3, 2024.
- [7] I. Kartvelishvili, G. Kuchava, Optimization of Software Delivery in DevOps with CI/CD, Proceedings of the International Scientific-Practical Conference, Georgian Technical University, 2024.

უსაფრთხოების მოვლენებზე დაფუძნებული ტიპური ქსელური შეტევების ეტაპებისა და ფაზების ანალიზი

იოსებ ქართველიშვილი, მაია ოხანაშვილი, მიხეილ დარჩაშვილი

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

s.kartvelishvili@gtu.ge, m.okhanashvili@gtu.ge, misha8003123@gmail.com

რეზიუმე

ნაშრომში წარმოდგენილი და გაანალიზებულია ტიპური ქსელური შეტევების ეტაპები და ფაზები. კომპიუტერულ ქსელებზე წარმატებული შეტევები წარმოადგენს თავდამსხმელის მიერ წინასწარ ჩამოყალიბებული და მომზადებული ქმედებების საკმაოდ რთულ თანმიმდევრობას. თავდასხმის განხორციელება ხშირად მრავალსაფეხურიანი პროცესია, რომელშიც თითოეული ეტაპი საკუთარი მახასიათებლებით ხასიათდება. კომპიუტერული შეტევის „ანატომიის“ შესწავლა გვაძლევს საშუალებას, რომ შევაფასოთ თავდამსხმელის შესაძლებლობები მავნე ქმედებების განხორციელებისას და ასევე ადეკვატური დაცვის სისტემა შევიმუშაოთ.

საკვანძო სიტყვები: შეტევების აღმომჩენი სისტემები. ქსელის დაზვერვა. გამაგრება. კვალის დამალვა. მავნე მიზნების განხორციელება.

1. შესავალი.

მოვლენის შესახებ რაც შეიძლება სრული ინფორმაციის არსებობით ყველაზე სრულყოფილი თავდასხმა შეიძლება გამოვლინდეს. თანამედროვე IDS-ები (Intrusion Detection System) პირველადი ინფორმაციის დამუშავებისას ყველაზე ხშირად აღმოაჩენენ თავდასხმებს გარკვეული ნიშნების არსებობით და თითოეული IDS ამას თავისებურად აკეთებს.

შეიძლება გამოვყოთ თავდასხმის ოთხი ძირითადი ეტაპი:

- ქსელის დაზვერვა;
- გამაგრება;
- კვალის დამალვა;
- მავნე მიზნების განხორციელება.

ეს მიდგომა საკმარისი არ არის სისტემის სრულფასოვანი ფუნქციონირებისთვის თავდასხმების ფაზების დასადგენად, რადგან ისინი არ იძლევიან თავდამსხმელის ქმედებების დაზუსტების საშუალებას. საფრთხეებსა და თავდასხმის ფაზებს შორის ურთიერთობის ანალიზი, რომელიც ხორციელდება თავდამსხმელის მიერ წარმოადგენს მნიშვნელოვან ამოცანას და თავდასხმის არსებობის შესახებ გადაწყვეტილების დროული მიღებისთვის საჭიროა. ასეთი ანალიზი შესაძლებელს ხდის თავიდან ავიცილოთ შედეგების თვალსაზრისით ყველაზე საშიში თავდასხმები, მაგრამ ასევე პირველი და მეორე ტიპის შეტევების ამოცნობისას შევამციროთ შეცდომები.

2. ძირითადი ნაწილი.

შემუშავებული მიდგომის მთავარი იდეას წარმოადგენს ის, რომ ყველაზე საშიშია არა თავდასხმის მოქმედებების იზოლირებული შემთხვევები არამედ დაცულ ქსელზე მიზანმიმართული პროგრესირებადი მოქმედება, თავდასხმის მოქმედებების თანმიმდევრული ნაკრების სახით. ამ შემთხვევაში, მავნე ქმედებების გამოვლენას ემატება ქსელურ მოვლენებსა და შესრულებულ მოქმედებებს შორის ურთიერთობების არაწრფივი ლოგიკური შემოწმება.

იმ ეტაპების რაოდენობის ინტერპრეტაციაზე, რომლებშიც ხორციელდება კომპიუტერის შეტევების უმეტესობა დღემდე არსებობს რამდენიმე მოსაზრება. შეგვიძლია დავეყრდნოთ თავდამსხმელის ტიპური მოქმედებების ქრონოლოგიურ თანმიმდევრობას, დაცულ ინფორმაციასა და გამოთვლით რესურსებს.

ზოგიერთი მკვლევარი კომპიუტერის შეტევის ეტაპებს აჯგუფებს გამოყენებული მეთოდების მიხედვით, ზოგი კი დეტალურად აღწერს თავდასხმის ეტაპებს სივრცითი პოზიციის მიხედვით - თავდასხმის მთელი პროცესის დაყოფით ქსელზე ან კომპიუტერზე განაწილებული ზემოქმედებიდან ლოკალურ შეტევამდე გადასვლის ფაზებად. მავნე ზემოქმედების შესწავლის თვალსაზრისით ქსელის კვანძებზე, ტიპური შეტევის ეტაპების აღწერის ყველაზე სრულყოფილი გზაა ყველა ამ მეთოდის კომბინაციის გამოყენება - ანუ ქრონოლოგიური და ტიპური კლასიფიკაციის გამოყენება.

კომპიუტერულ სისტემებზე თავდასხმებს რაც შეეხება, თავდამსხმელს შეიძლება ჰქონდეს შემდეგი მიზნები, რომლებსაც ის მუდმივად ცდილობს მიუახლოვდეს:

- სისტემაზე ნაწილობრივი ან სრული კონტროლის მოპოვება.
- ინფორმაციაზე წვდომის მოპოვება (კონფიდენციალურობის დარღვევა, არავტორიზებული მოდიფიკაცია ან წაშლა);
- სისტემის მუშაობის დარღვევა;
- ამავედროულად, შეიძლება ჩამოვთვალოთ იმ საფრთხეების ტიპები, რომლებიც თავდამსხმელს შეუძლია მათი საფრთხის ზრდის მიმდევრობით განახორციელოს:
- არსებული ქსელური სერვისების დაუცველობის იდენტიფიცირების საფრთხე, პაროლების გამოცნობა, ქსელური სერვისების ბანერების შეგროვების შესაძლებლობა;
- ქსელის პროტოკოლების, ღია პორტების ნომრების, ხელმისაწვდომი სერვისების შესახებ ინფორმაციის გამჟღავნების საფრთხე და ქსელის ურთიერთქმედების ქვესისტემის არქიტექტურული დაუცველობის გამოყენება;
- მომსახურებაზე უარის თქმის მუქარა;
- გაყალბების საფრთხეები (ARP spoofing, IP spoofing, DNS spoofing), რაც თავდამსხმელს აძლევს საშუალებას მოიპოვოს დამატებითი ინფორმაცია ან დაარღვიოს ქსელის მუშაობა;
- ქსელის სერვისების ან აპლიკაციის პროგრამული უზრუნველყოფის დანერგვისას მოწყვლადობის გამოყენებით ქსელის კვანძში შეღწევის საფრთხე (სტრიქონების ფორმატის გამოყენება, ბუფერის გადაჭარბების მეთოდები, და ა.შ.);
- ვებზე ორიენტირებულ დაუცველობასთან დაკავშირებული საფრთხეები (XSS, SQL ინექცია, PHP ინტერპრეტატორის დაუცველობა);
- შეღწევისა და ქსელში ყოფნის კვალის დამალვა და გაქრობა;
- ქსელის კვანძზე დამაგრების საფრთხე (კომპიუტერის გადატვირთვის შემდეგ მუშაობის აღდგენის შესაძლებლობა);
- ინფორმაციაზე წვდომის მოპოვების საფრთხეები, მავნე ეფექტების გავრცელება ქსელის სხვა კომპონენტებზე.

თავდამსხმელის ქმედებების ტიპური თანმიმდევრობა შეიძლება დაიყოს ეტაპებად, რომლებიც აღწერილი საფრთხეების თანმიმდევრულ განხორციელებასთანაა დაკავშირებული. თავდაპირველად თავდამსხმელი ეძებს ინტერნეტში თავდასხმის ობიექტს (ეს შეიძლება იყოს ინდივიდუალური კომპიუტერი, კომპიუტერების ჯგუფი ან მთელი ქსელი). ამისათვის ის სპეციალიზებულ პროგრამულ ინსტრუმენტებს, საჯარო საძიებო სისტემებსა და

დამატებით ინფორმაციას იყენებს, რომლის მიღებაც მას კომპიუტერული ქსელების გარეთ შეუძლია. შეტევის ეს ეტაპი არის პასიური - თავდამსხმელი არ ახორციელებს არანაირ მავნე მოქმედებას.

საჭირო ქსელის გამოვლენის შემდეგ თავდამსხმელი ქსელის აღჭურვილობის პოტენციურ ადგილებს აანალიზებს და აღმოაჩენს. ამისათვის ის ნაპოვნი ქსელის ტოპოლოგიის თავისებურებებს, მისადმი მიდგომებს სწავლობს (მეზობელ ქსელებს და მათ შორის ნდობის დონეებს). შეტევის ეს ეტაპი შეიძლება არ იყოს ჯერ აქტიური - თავდამსხმელს შეუძლია ყველა საჭირო ინფორმაცია მოიპოვოს მესამე მხარის სრულიად კანონიერი ინფორმაციული წყაროების გამოყენებით.

ამას შეტევის პირველი აქტიური ეტაპი მოყვება - ქსელის დაზვერვა. თანამედროვე განაწილებული ქსელებისა და საინფორმაციო რესურსების ორგანიზების ტიპური გადაწყვეტილებების გათვალისწინებით, სერვისის ინფორმაციის მისაღებად თავდამსხმელი ასკანირებს ქსელის აღჭურვილობას, სერვერებს და სამუშაო სადგურებს. იღებს იმის შესახებ ინფორმაციას, თუ რომელი ოპერაციული სისტემები და ქსელური სერვისები მუშაობს მათზე. თუ თავდამსხმელი ქსელშია (და შეჭრა შიდაა), მას შეიძლება წვდომა ჰქონდეს შესასწავლი კომპიუტერული ქსელის ქსელური პაკეტების გადასაცემ ფიზიკურ გარემოზე, რაც იმას ნიშნავს, რომ მას შეუძლია ქსელური აღჭურვილობის პასიური იდენტიფიცირება, მასში გამავალი ქსელური პაკეტების ანალიზით.

გარდა ამისა, აუცილებელია, რომ ქსელური მოწყობილობების კონფიგურაციის პარამეტრების გარკვევა მოახდინოს. ამისათვის თავდამსხმელი კვლევის ქვეშ მყოფი დისტანციური მოწყობილობებიდან მიღებულ მთელ ტრაფიკს აანალიზებს. ანალიზის მიზნებისთვის თავდამსხმელი ძირითადად ოპერაციული სისტემების არასტანდარტულ ინსტრუმენტებს იყენებს და თავად ანალიზი ხდება დროის გადადებულ რეჟიმში.

თავდამსხმელი ცდილობს დაადგინოს ინფორმაციული უსაფრთხოების სისტემაში დაუცველი ბმულების არსებობა, რაოდენობა და ტიპი კომპიუტერული ქსელის შესახებ მიღებული ინფორმაციის საფუძველზე. ამისთვის ასევე შეიძლება გამოიყენოს დამატებითი ქსელის სკანირება (მაგალითად, ვებ-სერვერის აღმოჩენისა და მისი ტიპის გაგების შემდეგ, შეიძლება საჭირო გახდეს დაუცველი CGI სკრიპტების დასადგენად დამატებითი სკანირება).

სისუსტეების გამოვლენის, ქსელური აღჭურვილობის ფუნქციონირების შეღწევისა და შეცვლის შესაძლებლობების გაანალიზების საფუძველზე თავდამსხმელი შემდგომი ქცევის სტრატეგიას განსაზღვრავს და ახორციელებს ქსელური აღჭურვილობის ფუნქციონირების გამორთვას.

შეტევის უკანასკნელი სტადიას თითქმის ყოველთვის წარმოადგენს ქსელში ყოფნის კვალის დამალვა ან ინფორმაციასთან წვდომა (კონფიდენციალურობის დარღვევა, მოდიფიკაცია, წაშლა). ამისთვის ხორციელდება სისტემაში არსებული ჩანაწერების ტიპებისა და სახეობების გაანალიზება და მისი მოდიფიკაცია.

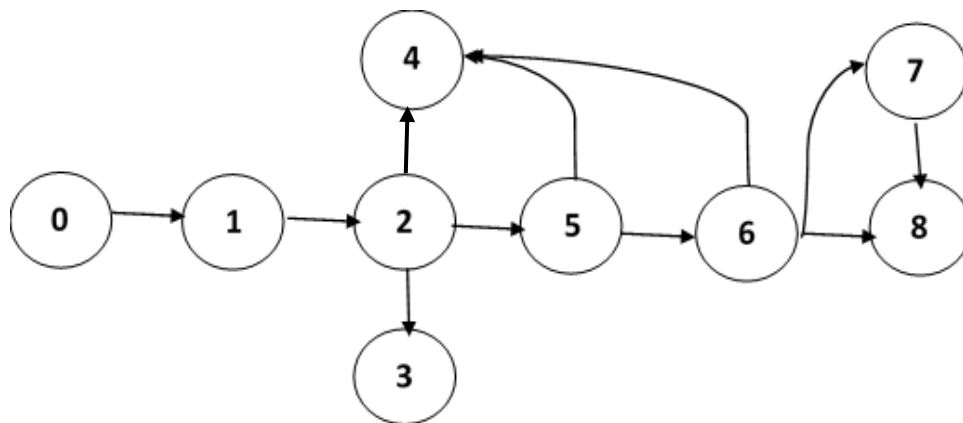
ამრიგად, ჩვენ შეგვიძლია ტიპური კომპიუტერული შეტევის ფაზების სია განვსაზღვროთ, რომელიც შეიძლება შემდგომში გამოყენებულ იქნას მათემატიკური მოდელირებისთვის.

ცხრილი 1. ტიპური ქსელური შეტევების ფაზები

ფაზის ტიპი P, აღნიშვნა	ტიპური მოქმედებები	დამახასიათებელი ნიშნები	განხორციელების მიზანი
უსაფრთხო მდგომარეობა, P ₀	ქსელში თავდასხმის ობიექტის ძიება		თავდასხმის ობიექტის ძიება მეორადი ინფორმაციით, რომელსაც ფლობს თავდამსხმელი
ტოპოლოგიის შესწავლა, ქსელური დაზვერვა, P ₁	ქსელის ტოპოლოგიის სკანირება, ღია პორტის სკანირება, OS ტიპის ამოცნობა	ქსელური ტრაფიკის ანომალიების გამოჩენა, ქსელის კვანძების სკანირება ცნობილი მეთოდების გამოყენებით	თავდასხმის ობიექტების ადგილმდებარეობის გარკვევა
დაუცველობის იდენტიფიკაცია, P ₂	ქსელური სერვისების და მათი ვერსიების განსაზღვრა, ბანერების შეგროვება, პაროლების შერჩევა	"ქარიშხალი" ქსელური პაკეტების საძიებო მოთხოვნები, ქსელის გარკვეულ კვანძებში, "ბანერების" შეგროვება, ჟურნალის ჩანაწერები	დაუცველი ქსელის ინფრასტრუქტურის კომპონენტების მოძიება
სპუფინგი, P ₃	სხვა ქსელის ობიექტის განსახიერების მცდელობა	ანომალიური პაკეტების გამოჩენა	მომსახურე სერვისებზე წვდომის მიღების მცდელობა ან სანდო სუბიექტად თავის გასაღება
უარი მომსახურებაზე, P ₄	რესურსის გათიშვა ხანგრძლივი ზემოქმედებით, რესურსის გამორთვა ერთი ზემოქმედებით	ტრაფიკის ანომალიური მახასიათებლის გამოჩენა, კვანძის რესურსის გამოყენება, ან ერთჯერადი ქმედება (ხელმოწერა), რომელიც იწვევს კვანძის შესვლას მომსახურების უარყოფის მდგომარეობაში	რესურსზე ნორმალური წვდომის დაბლოკვა, ინფორმაციაზე წვდომის შეუძლებლობა
შელწევის მცდელობა, P ₅	შელწევა თავდასხმულ სისტემაში დაუცველობის ან გამოცნობილი პაროლის გამოყენებით	ტრაფიკში საეჭვო ხელმოწერების გამოჩენა, ფრაგმენტები "shellcode", ჩანაწერები სარეგისტრაციო ჟურნალებში, სერვისზე უარის თქმა, სისტემის და სამომხმარებლო პროცესები ჩავარდნა	დისტანციური ჰოსტზე ან აპლიკაციაზე კონტროლის მიღება

გამაგრება, P ₆	ახალი მომხმარებლების გაჩენა, დამატებითი სასტარტო პუნქტების შექმნა, ახალი სისტემური სერვისების გაჩენა	დამატებითი კავშირების გამოჩენა ტრაფიკში, საკონტროლო ბრძანებების ფრაგმენტების ქსელურ ტრაფიკში გამოჩენა, უცნობი პროტოკოლები	მავნე ქმედებების ორგანიზება, მუქარის განხორციელება ყველა სახის ინფორმაციის უსაფრთხოება
ნაკვალევის ნილაბი, P ₇	სისტემაში ფარული ყოფნის საშუალებების დადგენა (rootkits), ჟურნალების გასუფთავება	ფარული კონტროლის პროგრამების ფრაგმენტების არსებობა ქსელურ ტრაფიკში, სარეგისტრაციო ჟურნალების გაქრობა	რესურსების უწყვეტი კონტროლი
ინფორმაციის განადგურება, თავდასხმის გავრცელება, P ₈		ქსელურ ტრაფიკში აქტიური ფარული არხების არსებობა, ქსელის ფრაგმენტების მოშლა	შენახული ინფორმაციის მთლიანობისა და მისი დამუშავების პირობების დარღვევა

(ნახაზი 1) სქემატურად გვიჩვენებს, თუ როგორ შეიძლება ტიპური ქსელის შეტევის სცენარი გადავიდეს ერთი ფაზიდან მეორეზე. უნდა აღინიშნოს, რომ ზოგიერთი ელემენტი შესაძლოა სცენარში არ იყოს და ამავდროულად შეიძლება მოხდეს შეტევა. რაც უფრო სრულყოფილი იქნება დაკვირვებული მოვლენების ჯაჭვი, მით უფრო გარკვეული იქნება ის.



ნახ. 1. თავდასხმის განხორციელების ეტაპები ტიპური სცენარის მიხედვით

3. დასკვნა

აღსანიშნავია, რომ შეჭრის აღმოჩენის სისტემა მუშაობს ეფექტურად, თუ ის მიუთითებს სისტემაში წარმოქმნილი ფაქტობრივი საფრთხეების არსებობაზე. სისტემისთვის საფრთხის შესაბამისობა (პირველ რიგში) კონკრეტული შეტევების განხორციელებასთან დაკავშირებული რისკების შეფასებით განისაზღვრება. ამიტომ IDS ოპერატორები, რომლებიც გარკვეული პერიოდის განმავლობაში ერთმანეთთან დაკავშირებულ შეტყობინებების ჯაჭვს აკვირდებიან, წყვეტენ მათ ყურადღებას. მეორეს მხრივ, თუ მომხმარებელი ხედავს, რომ შეტევა მიმდინა-

რეობს იმ ფაზაში, რომელშიც თავდამსხმელს უკვე შეუძლია მავნე ქმედების შესრულება და შედეგამდე მიმავალი მოვლენების ჯაჭვი აღდგება, მაშინ ასეთი წარმოდგენისას შეიძლება ბოლო დაკვირვებული მოვლენის საინფორმაციო შინაარსი მნიშვნელოვნად გაიზარდოს და წვლილი შეიტანოს სწორი გადაწყვეტილებების მიღებაში.

გამოყენებული ლიტერატურა:

1. ქართველიშვილი ი., ოხანაშვილი მ., აბულაძე ი., ჩორხაული ნ., დარჩაშვილი მ. ქსელური შეტევების აღმოჩენის არსებული სისტემების მიმოხილვა და ანალიზი. ასოციაცია მეცნიერებისათვის. Vol.6Issue3,2024.<https://doi.org/10.52340/gs.2024.06.03.01>
2. <https://blog.netwrix.com/2018/05/15/top-10-most-common-types-of-cyber-attacks/#Birthday%20attack>
3. <https://www.checkpoint.com/cyber-hub/network-security/what-is-an-intrusion-detection-system-ids/ids-vs-ips/#>

Analysis of the stages and phases of typical network attacks based on security events

Ioseb Kartvelishvili, M. Okhanashvili, M. Darchashvili

Georgian Technical University

s.kartvelishvili@gtu.ge, m.okhanashvili@gtu.ge, misha8003123@gmail.com

Summary

The paper presents and analyzes the stages and phases of typical network attacks. Successful attacks on computer networks represent a rather complex sequence of actions pre-formed and prepared by the attacker. The implementation of an attack is often a multi-stage process, in which each stage is characterized by its own characteristics. Studying the "anatomy" of a computer attack allows us to assess the attacker's capabilities in carrying out malicious actions and also to develop an adequate protection system.

Keywords: Intrusion detection systems. Network intelligence. Hardening. Obfuscation. Malicious intent.

მეხუთე და მეექვსე თაობის ციფრული მობილური კომუნიკაციის ტექნოლოგიები: ანალიზი და განვითარების პერსპექტივები

ომარ შამანაძე, ომარ ტყეშელაშვილი, რომან ცერცვაძე

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

o.shamanadze@gtu.ge, o.tkeshelashvili@gmail.com, r.tsertsvadze@gmail.com

რეზიუმე

სტატიაში განხილულია მეხუთე და მეექვსე თაობის ციფრული მობილური ტექნოლოგიების დანერგვის აქტუალობა მობილური კომუნიკაციის პრაქტიკაში. გაანალიზებულია განხორციელების შესაძლო ვარიანტები. დასაბუთებულია, რომ მობილური კომუნიკაციის სტანდარტის 5G ყველა უპირატესობით - მაღალსიხშირით, მაღალი გამტარობით, მცირე დაყოვნებით და ა.შ. - ამ დროისთვის მისი დანერგვის შესაძლებელი სირთულეები მხოლოდ იმ ადგილებში იქნება, სადაც ჯერჯერობით საკომუნიკაციო ქსელების დაკავშირებისა და სატელეფონო ტრაფიკის გატარების მოთხოვნები გაზრდილია. აქედან გამომდინარეობს, რომ ამ სტანდარტით დიდი ტერიტორიების დაფარვამ შეიძლება მნიშვნელოვანი ფინანსური ხარჯები გამოიწვიოს.

საკვანძო სიტყვები: 1G, 2G, 3G, 4G, 5G, 6G, MIMO, (BPSK) Binary Phase Shift Keying, ინტერნეტ ტრაფიკი, QPSK (კვადრატული ფაზის ცვლის გასაღები), OFDM (ორთოგონალური სიხშირის გაყოფით მულტიპლექსირება), 16-, 64-, 256-QAM (კვადრატული ამპლიტუდის მოდულაცია), 5G NR (5G ახალი რადიო).

შესავალი: მობილური საკომუნიკაციო სისტემების ევოლუცია დღეს რამდენიმე თაობას მოიცავს: 1G, 2G, 3G და 4G, სადაც „G“ ნიშნავს „თაობას“. თითოეულიც თაობა, გარკვეულ დროს, მობილური ტექნოლოგიების განვითარების ახალ ეტაპს წარმოადგენდა (სურ. 1). მექვსე თაობაზე გადასვლა, სავარაუდოდ, 2030 წელს დაიწყება [1, 2, 4].

1G	2G	3G	4G	5G	6G
1979	1990	2001	2009	2020	2030
1,9 კბიტ/წმ	2 G 9,6-14,4 კბიტ/წმ 2,75 G 47,3 კბიტ/წმ	3 G 2 მბიტ/წმ 3,5 G 3,1 მბიტ/წმ	3 გბიტ/წმ	20 გბიტ/წმ	100 გბიტ/წმ
					

ნახ 1. მობილური სისტემების განვითარება

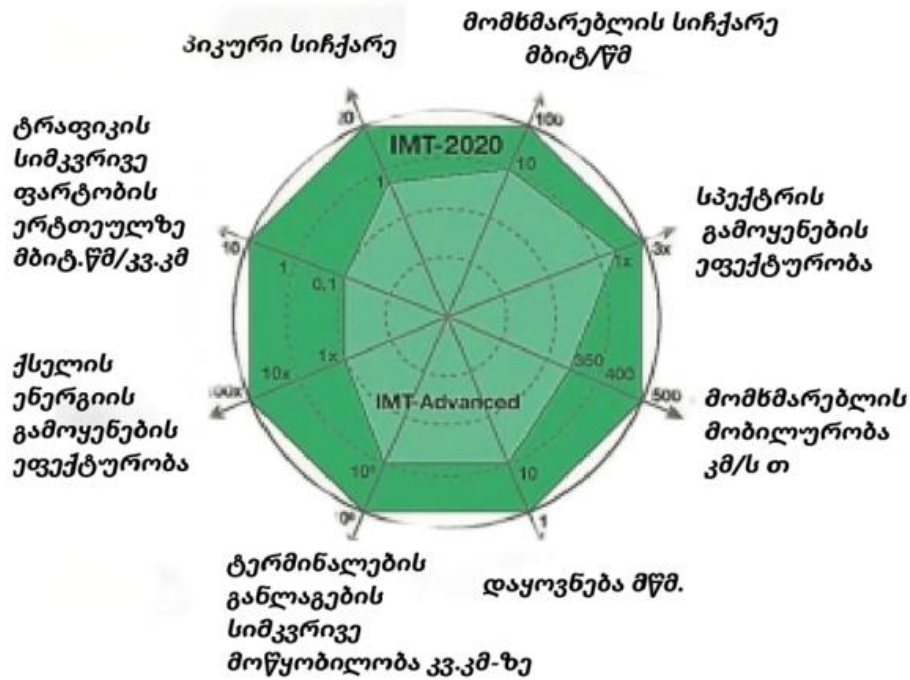
ამჟამად მიმდინარეობს პროგრამები მეხუთე და მეექვსე თაობის (6G) სტანდარტის საფუძვლების შესაქმნავლად და მოსალოდნელია, რომ 6G ქსელების ახალი თაობა დაახლოებით 2030 წელს გამოჩნდება. მობილური ქსელებით გადაცემული ტრაფიკის მუდმივად მზარდი მოცულობა და ახალი აპლიკაციების შექმნა, რომლებიც მაღალი მონაცემთა გადაცემის სიჩქარეს მოითხოვენ, მოითხოვს 5G კომუნიკაციების ახალი თაობის შემუშავებას

დადანერგვას. ეს ანგარიში წარმოადგენს მეხუთე თაობის 5G მობილური კომუნიკაციების ტექნოლოგიების და მათი პოტენციური განვითარების პერსპექტივების მოკლე ანალიზს [1–5]. პერსონალური მოწყობილობების მზარდი რაოდენობა, რომლებიც მუდმივ ინტერნეტკავშირს მოითხოვენ და შესაბამისად, გაზრდილი ტრაფიკი, მოითხოვს მიმდინარე 4G კომუნიკაციის სტანდარტის თვისებრივ ცვლილებას. მოსალოდნელია, რომ 5G-ის ახალი თაობა დააკმაყოფილებს სამ კრიტერიუმებს [3].

მეოთხე 4G და მეხუთე თაობის 5G სტანდარტების საფუძვლების მოკლე შედარება. ახალი 5G ციფრული მობილური ქსელი ფუნდამენტურად არის არსებული კომუნიკაციების მობილური ქსელი. ერთ-ერთი მახასიათებელია, რომ 5G ერთი უნიკალური მთავარი ის არის, რაც ყველაზე ხშირად გვხვდება 30 გჰც-დან 300 გჰც-მდე მის დიაპაზონში, ხოლო ამჟამად ყველაზე მაღალი 4G ფორმატი მუშაობს 6 გჰც-ზე დაბალ სიხშირეებზე. უფრო მაღალი სიხშირეები უზრუნველყოფს გადაცემის უფრო მაღალ სიჩქარეს და მონაცემთა მოცულობის გაზრდას. უფრო მაღალი სიხშირის დიაპაზონები ჯერ კიდევ არ არის გადატვირთული ქსელის გარკვეული ფიჭური ქსელებით და მზადაა დააკმაყოფილოს მზარდი ქსელი. ამ სიხშირეების მთავარი დამახასიათებელია მათი მკაფიო სიგნალის მიმართულება, რაც საშუალებას იძლევა მონაცემთა პარალელურად გაცვლა სხვა უკაბელო მოწყობილობებით ან ჩარევის გარეშე (ორი ან მეტი კოჰერენტული ტალღის შედეგად მიღებული ამპლიტუდის ურთიერთ გაზრდა ან სხვაობა, როდესაც ისინი ერთმანეთს ერწყმის). ტალღის სიგრძის შეცვლას საჭიროებს უფრო მცირე ანტენები, რაც მიუთითებს უფრო ზუსტი კონტროლისთვის. ეს ნიშნავს, რომ როდესაც 5G ქსელები ხელმისაწვდომი იქნება, მონაცემების გადაცემა უფრო მაღალი სიჩქარით მომხმარებლისთვის. გადაცემის სიზუსტე გაიზრდება და შეყოვნება მინიმალური იქნება [3–5]. 5G-სა და 4G-ს შორის კიდევ ერთი განსხვავება ისაა, რომ დაბალი ენერგომომხმარება მიიღწევა გადაცემულ კონტენტთან ადაპტაციით, როდესაც მოწყობილობები უმოქმედოა ან დაბალი სიჩქარით მუშაობს, და შემდეგ საჭიროების შემთხვევაში უფრო მაღალ სიჩქარეზე გადასვლით. უკიდურესად მაღალსიხშირეებს აქვთ როგორც უპირატესობები, ასევე ნაკლოვანებები, განსაკუთრებით გადამცემ და მიმღებ ანტენებს შორის შეზღუდული ხედვის გამო. გარდამისა, ამ დიაპაზონში ელექტრომაგნიტური ტალღები მნიშვნელოვნად სუსტდება დიდ მანძილზე გადაცემისას, რადგან მათი ენერგიას შთანთქავს გარემო, რომელშიც ისინი გადიან. ამიტომ, მეხუთე თაობის 5G ქსელებში ანტენების დამონტაჟება ყურადღებით უნდა იქნას განხილული: ეს მოიცავს პატარა ანტენებს თითოეულ შენობაზე ან მობილურ გამეორებებს 5G-ის დიდ მანძილზე მხარდასაჭერად. ახალ სტანდარტზე გადასვლის ღირებულება რძელვადიან პერსპექტივაში ნამდვილად ღირს. მობილური ქსელების ევოლუცია 4G-დან 5G-ზე ვიზუალურად შეიძლება აისახოს ნახაზ 2-ის მიხედვით [1–18].

პოტენციური ტექნოლოგიები 5G და 6G სტანდარტში. ამ თაობების ქსელების გამოყენებას შეუძლია გააუმჯობესოს არსებული სერვისების გამოყენება, რომლებიც დიდი რაოდენობით ტრაფიკს ამუშავებენ [1–5]:

-MIMO (მრავალჯერადი შესავალი-მრავალჯერადი გამომავალი) – ტექნოლოგია, რომელიც საშუალებას იძლევა გამოყენებულ იქნას მრავალი ანტენა გადამცემ-მიმღებებზე, რაც ზრდის მონაცემთა გადაცემის სიჩქარეს და აუმჯობესებს სიგნალის სხარისხს;-გადასვლა სანტიმეტრული ტალღურიდან მილიმეტრულ ტალღურ დიაპაზონებზე.



ნახ 2. LTE-დან (Long Term Evolution Advanced) 5G-მდე გაფართოების ინდიკატორი

ამჟამად, მეოთხე თაობის ქსელები იკავებენ ვიწრო სიხშირის დიაპაზონს, რაც არ უზრუნველყოფს მობილური კომუნიკაციების სრულ ფუნქციონირებას. თუმცა, ახალი სტანდარტი გვთავაზობს დიაპაზონის თითქმის 100-ჯერ გაზრდას (ნახ. 3); - მრავალი ტექნოლოგია უზრუნველყოფს მხარდაჭერას ისეთი მემკვიდრეობითი ტექნოლოგიებისთვის, როგორიცაა UMTS, GSM, LTE, ასევე სხვა, რომლებიც მოქმედებენ მობილური ქსელების გარეთ, როგორიცაა Wi-Fi; - D2D (მოწყობილობა-მოწყობილობა) – მოწყობილობიდან-მოწყობილობამდე ტექნოლოგია საშუალებას აძლევს მოწყობილობებს, რომლებიც ახლოს არიან, პირდაპირ გაცვალონ მონაცემები, 5G ქსელის საჭიროების გარეშე. „ჭკვიანი ქალაქის“ პროექტი შესაძლებელს გახდის ინფორმაციის გადაცემას და მონიტორინგს ქალაქში არსებული უამრავი სენსორიდან რეალურ დროში, სხვა და სხვა ობიექტიდან. მაგალითად, ეს შეიძლება იყოს განათების და ხმის სენსორები, რომლებიც დამონტაჟებულია უსაფრთხოებისა და წესრიგის უზრუნველსაყოფად.

მეხუთე თაობის (5G) ფიზიკური ფენის მიმოხილვა. 5G ქსელების ძირითადი ტექნიკური მოთხოვნები ნაჩვენებია ნახაზ 2-ში. ეს მოთხოვნები შემოთავაზებულია განხორციელდეს, სხვა საკითხებთან ერთად, ქვემოთ ჩამოთვლილი ტექნოლოგიების გამოყენებით. დუპლექსი (ორმხრივი). 5G მობილურ ქსელში შესაძლებელია სიხშირის დომენის (FDD) და დროის დომენის (TDD) დუპლექსინგის გამოყენება - მოწყობილობებს შორის ორმხრივი კომუნიკაციის პრინციპი, არხების დაშვებული (DL) დააღმავალი (UL) მიმართულებით დაყოფისთვის [1–4]. მულტიპლექსირების ტექნოლოგია. 5G რადიო წვდომა ეფუძნება გადაცემის მეთოდს, რომელიც იყენებს ორთოგონალურ ჰარმონიულ სიგნალებს. ინგლისურ ენოვან ლიტერატურაში ეს მეთოდი ცნობილია როგორც OFDM (ორთოგონალური სიხშირის გაყოფის მულტიპლექსირება). ამ მეთოდის იდეა ეფუძნება ციფრული მონაცემების გადაცემის ტექნიკას მრავალი ჰარმონიული ქვემატარებლის გამოყენებით, რომლებიც იყენებენ ერთსა და იმავე ფართო სიხშირულ დიაპაზონს. „სწრაფი“ მონაცემთა ნაკადი იყოფა ნაკრებად, რომელიც

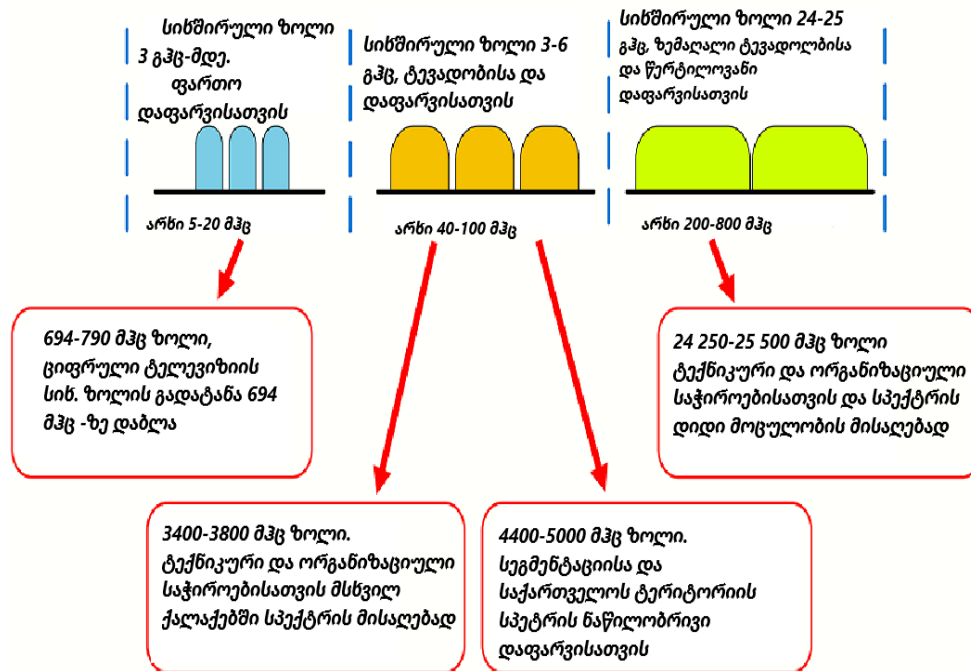
ხმედგება N პარალელური „ნელი“ ნაკადებისგან, რომლებიც მოდულირებენ ქვემატარებლის რხევებს სხვადასხვა ცენტრალური სიხშირით [1–4, 7–9]. 5G-ში მოდულაცია ხორციელდება შემდეგი სქემების გამოყენებით: $\pi/2$ -BPSK (ორობითი ფაზის ცვლის გასაღები), QPSK (კვადრატული ფაზის ცვლის გასაღები), 16-, 64-, 256-QAM (კვადრატული ამპლიტუდის მოდულაცია). $\pi/2$ -BPSK მოდულაციის გამოყენება (რომელიც არ გამოიყენება 4G ქსელებში) შესაძლებელია მხოლოდ აღმავალი (UL) არხში DFT-OFDM (დისკრეტული ფურიეს გარდაქმნის) რეჟიმში და აქტუალურია ენერგო ეფექტური IoT ქსელებისთვის. [3–8].

განვითარების პერსპექტივები. MIMO-OFDM-ის ეფექტურობა განპირობებულია შემდეგი ფაქტორებით: გადამცემი ანტენების მიერ გამოსხივებული სიგნალების კოჰერენტული შეჯამების გამო საშუალო სიგნალ-ხმაურის თანაფარდობის ზრდა, არხთაშორისი ჩარევის შემცირება, სივრცე-დროის მონაცემთა კოდირების გამოყენება, სიგნალის გენერირებისა და მიღების გამოთვლით ეფექტური მეთოდები და სიმბოლოთაშორისი ჩარევის წინააღმდეგ მებრძოლი სელეგანტური მეთოდი.

ნატოს სამხედრო საკომუნიკაციო სისტემებში MIMO-OFDM ტექნოლოგიების საჭიროებად ადანერგვის გზები განიხილებოდა ჯერ კიდევ 2008 წელს. ჩეხურმა კომპანია DICOM-მა წარმოადგინა PR-20 პერსონალური რადიო კომუნიკაციის მოწყობილობა, რომელიც სიხშირის ნახტომის გარდა, ახორციელებს OFDM სიგნალების სივრცულ მულტიპლექსირებას MIMO ტექნოლოგიის გამოყენებით "2 გადამცემი - 2 მიმღები" სქემით. მოწყობილობის ტესტირებამ ქალაქისა და დახურულ პირობებში აჩვენა, რომ მონაცემთა პაკეტის შეცდომების ალბათობა MIMO რეჟიმში შეიძლება შემცირდეს 4-ჯერ 70-80 მდე გადამცემის მანძილზე. ნაჩვენებია, რომ [3-5]-ში შემოთავაზებული ტექნიკური გადაწყვეტილებების გამოყენებას შეუძლია გააუმჯობესოს სიგნალი-ხმაურის თანაფარდობა ციფრული ანტენის მასივის მიმღები მოდულების გამოსასვლელზე სამხედრო საკომუნიკაციო სისტემებში, რომლებიც იყენებენ MIMO-OFDM ტექნოლოგიებს ადგილობრივ შეიარაღებულ კონფლიქტებში. სიგნალის გადაცემის სიჩქარის, მოწყობილობების რაოდენობის და მრავალი 5G აპლიკაციიდან ტრაფიკის ზრდის მოთხოვნების დასაკმაყოფილებლად აუცილებელია ახალი რადიო სპექტრული დიაპაზონების დამატება. ახალი 5G NR დიაპაზონები მერყეობს 2.5-დან 40 გჰც-მდე. მიმდინარეობს დისკუსიები 100 გჰც-მდე სპექტრის გამოყენებას თანდაკავშირებით (ნახ. 3).

ოპტიმიზებული OFDM (ორთოგონალური სიხშირის გაყოფის მულტიპლექსირება) ტექნოლოგია უკვე წარმატებით გამოიყენება 4G/LTE-A-შიდა (მრავალ მომხმარებლიანი-MIMO) 5G საბაზო სადგურებში, რომელთა ანტენებიც შედგება გამოსხივების ელემენტების მატრიცისგან. ეს შესაძლებელს ხდის კონკრეტული მომხმარებლისთვის სიგნალის სიძლიერის გაზრდას, ამავდროულად ამ სიგნალის სხვა მომხმარებლებზე ზემოქმედების მინიმიზაციისას. სპექტრის გაზიარების ტექნოლოგიები.

რადიოსიხშირულის პექტრის მრავალი ნაწილი, სათანადოდ განაწილებული, ხშირად ეფექტურად არ გამოიყენება. სპექტრის გაზიარების ტექნოლოგიები შემუშავდა ამ პრობლემის გადასაჭრელად. სიხშირეებს შორის ერთიანი დიზაინი. რადგან 5G NR მრავალახალ სიხშირულ დიაპაზონს ამატებს, მნიშვნელოვანია უზრუნველყოთ ურთიერთქმედების ინტერფეისი საბაზო სადგურებს შორის არხების ერთი სიხშირიდან მეორეზე გადაცემისას.



ნახ. 3. მეხუთე და მეექვსე თაობის მობილური კომუნიკაციებისთვის ახალი სიხშირეების გამოყოფა

დასკვნა: ძნელია ვისაუბროთ მეხუთე თაობის 5G და მეექვსე თაობის 6G ქსელების დანერგვის ზუსტ ვადებსა და მიზანშეწონილობაზე, რადგან ამჟამად მიმდინარეობს ინტენ-სიური კვლევა შესაბამისი ტექნოლოგიების შემუშავებასა და დანერგვაზე. ამ პოტენციალის რეალიზებისთვის აუცილებელი იქნება მისი განლაგების საკითხის განხილვა იმ ადგილებში, სადაც ქსელური კავშირისა და სატელეფონო ტრაფიკის გაზრდილი მოთხოვნებია. 5G განვითარების სფეროში ჩატარდა მნიშვნელოვანი კვლევა, როგორცაა ახლახან შექმნილი METIS (მობილური და უსადენო კომუნიკაციების ხელშეწყობი ოცდაათი საინფორმაციო საზოგადოებისთვის) 5G კონსორციუმი, რომელმაც განსაზღვრა მობილური კომუნიკაციების განვითარების სამომავლო გზები. შესაბამისად, შეიძლება დავასკვნათ, რომ მეხუთე და მეექვსე თაობის 5G-6G სტანდარტების დანერგვა შესაძლებელია რამდენიმე წელიწადში, არა მხოლოდ სამოქალაქო, არამედ სამხედრო სატელეკომუნიკაციო სისტემებშიც.

გამოყენებული ლიტერატურა:

- [1] https://www.cisco.com/c/dam/m/en_us/solutions/service-provider/vni-forecast-highlights/pdf/Global_Device_Growth_Traffic_Profiles.pdf
- [2] <https://www.fiercevideo.com/video/youtube-accounts-for-35-worldwide-mobile-internet-traffic-sandvine-says>
- [3] Anush Krishna Moorthy and Alan Conrad Bovik, "Blind image quality assessment: From natural scene statistics to perceptual quality," *Trans.Img. Proc.*, vol. 20, no. 12, pp. 3350-3364, Dec. 2011
- [4] Kalpana Seshadrinathan, Rajiv Soundararajan, Alan Conrad Bovik, and Lawrence K. Cormack, "Study of subjective and objective quality assessment of video," *Trans. Img. Proc.*, vol. 19, no. 6, pp. 1427-1441, June 2010
- [5] <https://www.itu.int/md/T01-SG12-040324-D-0197/en>

- [6] <https://www.itu.int/rec/T-REC-J.247/en>
- [7] P. Casas, et al., "Monitoring YouTube QoE: Is your mobile network delivering the right experience to your customers?," IEEE WCNC, 2013, pp. 1609–1614.
- [8] <https://www.itu.int/rec/R-REC-BT.500>
- [9] <http://www.pevq.com/pevq.html>

Fifth and sixth generation digital mobile communication technologies: analysis and development prospects

Omar Shamanadze, Omar Tkeshelashvili, Roman Tsertsvadze

Technical University of Georgia

o.shamanadze@gtu.ge, o.tkeshelashvili@gmail.com, r.tsertsvadze@gmail.com

Abstract:

The article discusses the relevance of the introduction of fifth and sixth generation digital mobile technologies in the practice of mobile communication. Possible implementation options are analyzed. It is substantiated that with all the advantages of the 5G mobile communication standard - high speed, high bandwidth, low latency, etc. - at the moment, noticeable difficulties in its implementation will be widespread only in those areas where the requirements for connecting cellular communication networks and handling telephone traffic are increased. It follows that covering large areas with this standard can entail significant financial costs.

Keywords: 1G, 2G, 3G, 4G, 5G, 6G, MIMO, (BPSK) Binary Phase Shift Keying, Internet traffic. QPSK (Quadrature Phase Shift Keying), OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing), 16-, 64-, 256-QAM (Quadrature Amplitude Modulation), 5G NR (5G New Radio).

ბანკის ბიზნეს-პროცესების დაპროექტების მიდგომის შემუშავება

მედეა თევდორაძე, ნინო მელიქიძე, თამთა რუხაძე

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

medeat@gtu.ge, melikidze.nino22@gtu.ge, tamtarukhadze@gtu.ge

რეზუმე

წინამდებარე ნაშრომში განიხილება ბანკის ბიზნეს-პროცესების დაპროექტების საკითხი, ამასთან დაკავშირებით აღნიშნულია ბანკში ბიზნეს-პროცესების დანერგვის აუცილებლობა, ამის გამომწვევი მიზეზები და შედეგები. დახასიათებულია ბიზნეს-პროცესების დანერგვის პრობლემატიკა. შემოთავაზებულია BSC-მეთოდის გამოყენება, რომელიც ერთდროულად წარმოადგენს სტრატეგიის განხორციელების და ბანკის ეფექტიანობის შეფასების საუკეთესო ინსტრუმენტს. შემუშავებულია და წარმოდგენილია ბანკის ბიზნეს-პროცესების დაპროექტება/-გადაპროექტების ძირითადი ეტაპები და მოქმედებები, რომლებიც დაფუძნებულია BSC-მეთოდის გამოყენებაზე. მოყვანილია შემუშავებული მიდგომის აღწერა და ბლოკ-სქემა.

კვანძოვანი სიტყვები: ბანკის ბიზნეს-პროცესები, ბანკის ბიზნეს-პროცესების დაპროექტებაში BSC-მეთოდის გამოყენება

1. შესავალი.

საბანკო საქმიანობის წარმატება მნიშვნელოვნად არის დამოკიდებული სტრატეგიულად და ეფექტიანად დაგეგმილ ბიზნეს - პროცესებზე. ციფრული ეკონომიკის განვითარება, მომხმარებელთა ქცევის ცვლილება და ტექნოლოგიური ინოვაციები ბანკებს აყენებს ახალი მოთხოვნების წინაშე - სერვისის ხარისხი, სისწრაფე, უსაფრთხოება და მოქნილობა იქცევა გადამწყვეტ ფაქტორებად. გარდა ამისა, გლობალური კონკურენცია და არაბანკო ფინანსური პლატფორმების (FinTech) გაძლიერება ზრდის ზეწოლას ტრადიციულ ბანკებზე, რაც მათ აიძულებს გააუმჯობესონ შიდა პროცესები და მოქნილად უპასუხონ ბაზრის ცვლილებებს. ამასთანავე, რეგულაციების მკაცრი მოთხოვნები და რისკების მართვის საჭიროება კიდევ უფრო ზრდის ბიზნეს-პროცესების სწორად ჩამოყალიბებისა და მართვის მნიშვნელობას. ბიზნეს-პროცესების ეფექტიანი სისტემატიზაცია არამხოლოდ ორგანიზაციულ სტრუქტურას აძლევს სიძლიერეს, არამედ ქმნის მყარ საფუძველს მომავლის სტაბილური და ინოვაციური განვითარებისთვის. შესაბამისად, ბიზნეს-პროცესების აქტუალობა დღითიდღე იზრდება და ბანკებისთვის ხდება სტრატეგიული პრიორიტეტი [1].

2. ძირითადი ნაწილი.

თანამედროვე ბანკის ბიზნეს-პროცესების შემუშავების პრობლემატიკა საკმაოდ აქტუალური და კომპლექსურია. თანამედროვე საფინანსო სექტორის დინამიკა და ციფრული ტრანსფორმაცია აყენებს ბანკებს რთული არჩევანის წინაშე: ერთი მხრივ – ტექნოლოგიური ინოვაციების სწრაფი დანერგვა, მეორე მხრივ – პროცესების სტაბილურობისა და უსაფრთხოების შენარჩუნება. ბანკის ოპერაციები მოიცავს მრავალფეროვან სერვისებს: კრედიტების გაცემა, დეპოზიტები, გადარიცხვები, ფასიანი ქაღალდების ოპერაციები და სხვ. ყოველივე ამ მიმართულების ბიზნეს-პროცესები მოიცავენ მრავალ ოპერაციას, რაც ართულებს მათ ოპტიმიზაციას და სტანდარტიზაციას [2].

როგორც ჩანს ზემოთ განხილული საკითხიდან თანამედროვე ბანკის ბიზნეს-პროცესების შემუშავება საკმაოდ რთული ამოცანაა. ის მოითხოვს მუდმივ ინოვაციას, თანამშრომელთა

პროფესიულ განვითარებას, მომხმარებლის საჭიროებებზე მორგებასა და რეგულაციების დაცვას. აღნიშნული პრობლემების სწორად იდენტიფიცირება და მათზე ეფექტიანი რეაგირება უზრუნველყოფს ბანკის კონკურენტუნარიანობასა და გრძელვადიან სტაბილურობას.

თანამედროვე საბანკო სექტორი დგას ურთულესი და მრავალმხრივი გამოწვევების წინაშე, რომელთა ძირითადი ნაწილი უკავშირდება ბიზნეს-პროცესების დაპროექტებას, გამართვას, განვითარებასა და ტექნოლოგიურ ინოვაციებთან ინტეგრაციას. დღესდღეობით, საბანკო საქმიანობა მნიშვნელოვნად სცდება ტრადიციული მომსახურების ფარგლებს. მომხმარებლის ქცევა იცვლება - მოთხოვნები სწრაფ, მარტივ, ციფრულ და ინდივიდუალურად მორგებულ სერვისებზე იზრდება. შესაბამისად, ბანკებიც იძულებულნი არიან მოერგონ ამ ახალ რეალობას და განახორციელონ სიღრმისეული რეფორმები საკუთარ ბიზნეს-პროცესებში.

შესაძლებელია გამოვკვეთოთ შემდეგი სერიოზული გამოწვევები, დაკავშირებული ბანკის ბიზნეს-პროცესებთან:

რეგულაციებისადმი მიდგომა – მაგალითისთვის შეიძლება ითქვას, რომ საქართველოს საბანკო სექტორი მკაცრად რეგულირდება, რაც ხშირად აფერხებს პროცესის მოქნილ და სწრაფ ციფრულ განვითარებას. ბანკები მოქმედებენ მკაცრი რეგულაციების ფარგლებში, როგორცაა „იკნობდე შენს კლიენტს“ (KYC), ანტიფინანსური თაღლითობის პოლიტიკა (AML), პერსონალური მონაცემების დაცვა (GDPR) და სხვა. ყოველი რეგულაციური ცვლილება საჭიროებს შესაბამის ბიზნეს-პროცესების გადახედვასა და შესაბამისობაში მოყვანას, რაც ხშირად დროულ და სირთულით დატვირთულ პროცესად იქცევა;

მონაცემებზე დაფუძნებული მართვის აუცილებლობა - თანამედროვე ბანკი ვერ ფუნქციონირებს ხარისხიანად იმ შემთხვევაში, თუ მისი საქმიანობა არ ეყრდნობა მონაცემთა ანალიზს. პროცესების დახვეწა ხდება მომხმარებლის ქცევაზე, ფინანსურ ტრენდებსა და ოპერაციულ მაჩვენებლებზე დაყრდნობით. ამისთვის საჭიროა: მონაცემების სწორი შეგროვება და დამუშავება, ანალიტიკური ინსტრუმენტების დანერგვა, მიღებული შედეგების პროცესებში ინტეგრირება;

საბანკო ფუნქციების მრავალფეროვნება - თანამედროვე ბანკის საქმიანობა მოიცავს მრავალ მიმართულებას - ფიზიკური და ონლაინ მომსახურება, კრედიტებისა და დეპოზიტების მართვა, ფინანსური ანალიზი, ინვესტიციები, გადახდები და სხვა. თითოეულ ამ მიმართულებას თავისი სპეციფიური პროცესები აქვს, რაც ართულებს მათ ერთიან მენეჯმენტს. განსაკუთრებით რთულია ამ პროცესების ავტომატიზაცია ისე, რომ არ დაირღვეს სტაბილურობა და ხარისხი.

ყოველივე აღნიშნულის ფონზე, გარდა ბიზნეს-პროცესების დაპროექტების, წინა პლანზე იწევს ბიზნეს-პროცესების მოდერნიზაციის და გაუმჯობესების ამოცანები. ბიზნეს-პროცესების მოდერნიზაცია გულისხმობს არა მხოლოდ ტექნოლოგიური ინფრასტრუქტურის განახლებას, არამედ სტრატეგიული ხედვის ჩამოყალიბებას, პროცესების ავტომატიზაციასა და მოქნილი სამუშაო მოდელის დანერგვას. თუმცა ამ ყველაფერს თან ახლავს მნიშვნელოვანი პრობლემები - მათ შორისაა მოძველებული ტექნიკური არქიტექტურა, თანამშრომელთა მზადყოფნის ნაკლებობა, ცვალებადი რეგულაციების დროული ინტეგრირების სირთულე და მომხმარებელზე ორიენტირებული მიდგომის ინსტიტუციური დანერგვა [3]. ამასთან ერთად, როგორც უკვე აღვნიშნეთ, განსაკუთრებულ მნიშვნელობას იძენს მონაცემებზე დაფუძნებული გადაწყვეტილებების მიღება. ბიზნეს-პროცესების ეფექტიანად ფუნქციონირებისთვის აუცილებელია დიდი მოცულობის ინფორმაციის სწორად შეგროვება, დამუშავება და ანალიტიკა. მონაცემთა ინტელექტუალური გამოყენება ბანკს აძლევს შესაძლებლობას არა მხოლოდ

ოპერაციული პროცესების ოპტიმიზაციისთვის, არამედ რისკების მართვის, თაღლითობის პრევენციისა და მომხმარებლისთვის პერსონალიზებული მომსახურების შეთავაზებისთვისაც. არანაკლებ მნიშვნელოვანია რეგულაციური ჩარჩოს გათვალისწინება. საბანკო სექტორი ერთ-ერთ ყველაზე მკაცრად რეგულირებულ სფეროდ რჩება. ამიტომ ბიზნეს-პროცესების შემუშავება ვერ მოხდება რეგულაციების დეტალური ანალიზის, შესაბამისი ცვლილებების ინტეგრირების და გამჭვირვალობის სტანდარტების დაცვის გარეშე. გარდა ამისა, აუცილებელია ადამიანური ფაქტორის გათვალისწინება - კერძოდ, თანამშრომელთა ჩართულობა პროცესების ცვლილებაში. წარმატებული ტრანსფორმაცია შეუძლებელია იმ შემთხვევაში, თუ ორგანიზაციაში არ არსებობს ცვლილებებისადმი ღია და მხარდამჭერი კულტურა [4].

ყოველივე აღნიშნულის გათვალისწინებით ჩვენს მიერ შემოთავაზებულია ბანკის ბიზნეს-პროცესების დაპროექტება BSC (Balance Score Card - დაბალანსებული მაჩვენებლების) მეთოდის გამოყენების საფუძველზე. BSC-მეთოდი წარმოადგენს სტრატეგიის განხორციელების ორგანიზაციის (მათ შორის ბანკის) ფუნქციონირების ეფექტიანობის შეფასების ინსტრუმენტს, მაგრამ, გარდა ამისა შესაძლებელია გამოვიყენოთ ბანკის ბიზნეს-პროცესების დასაპროექტებლად. თავად BSC-მეთოდი მოიცავს შემდეგ ოთხ ძირითად ეტაპს: 1. BSC-ის შემუშავებისთვის მომზადება; 2. BSC-ის ჩამოყალიბება (სტრატეგიულ დონეზე); 3. BSC დაყვანა ქვედა დონეებამდე; 4. სტრატეგიის შესრულების კონტროლი/მონიტორინგი [5,6].

შემდეგ წარმოდგენილია მაჩვენებლების დაბალანსებული მეთოდის საფუძველზე ჩვენს მიერ შემუშავებული საბანკო ბიზნეს-პროცესების დაპროექტების, ანალიზისა და შეფასების პროცედურა, რომელიც მოიცავს სამ ძირითად ეტაპს.

პირველ ეტაპზე უნდა განხორციელდეს ის სამუშაოები, რომელიც დამახასიათებელია ყველა ტიპის ორგანიზაციისათვის შემდეგი თანმიმდევრობით [7]:

- ბანკის მისიის ჩამოყალიბება;
- ხედვის ჩამოყალიბება;
- სტრატეგიული მიზნების ჩამოყალიბება;
- ბანკის სტრატეგიის შემუშავება;
- ბანკის IT-სტრატეგიის შემუშავება;
- ბანკის სტრუქტურის განსაზღვრა;
- ბანკის ბიზნეს-პროცესების დაპროექტება.

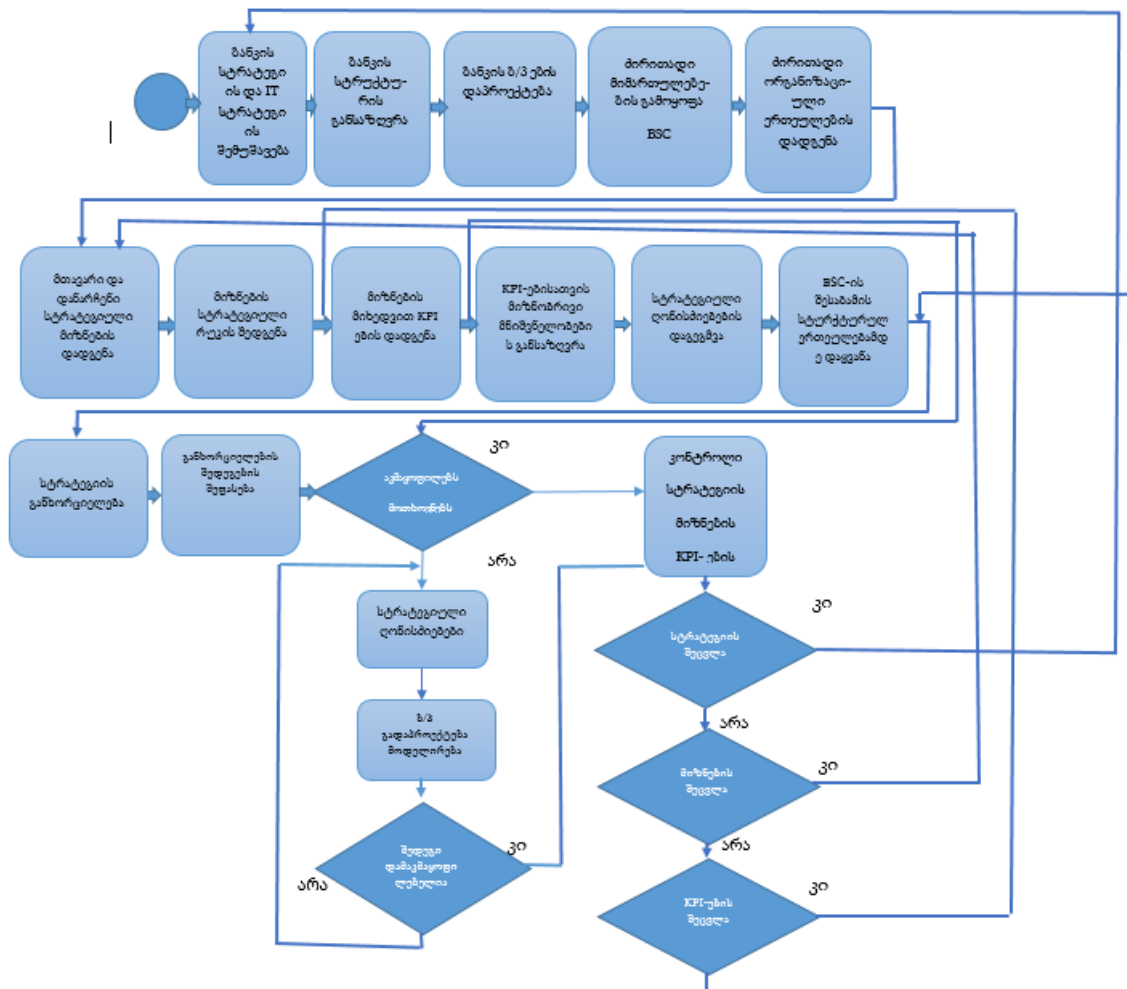
მეორე ეტაპი უკვე დამახასიათებელია უშუალოდ BSC-მეთოდისათვის:

- საქმიანობის ძირითადი მიმართულებების გამოყოფა (4 პერსპექტივა);
- იმ ძირითადი ორგანიზაციული ერთეულების დადგენა, რომლებზედაც იმუშავებს BSC;
- მთავარი და დანარჩენი სტრატეგიული მიზნების დადგენა;
- მიზნების სტრატეგიული რუკის შედგენა;
- მიზნების მიხედვით KPI-ების დადგენა;
- KPI-ებისათვის მიზნობრივი მნიშვნელობების განსაზღვრა;
- სტრატეგიული ღონისძიებების დაგეგმვა;
- BSC-ის შესაბამის სტრუქტურულ ერთეულებამდე დაყვანა.

მესამე ეტაპი წარმოადგენს უშუალოდ სტრატეგიის და BSC-ის მეთოდის განხორციელებას და საჭიროების შემთხვევაში ბიზნეს-პროცესების გაუმჯობესებას [8]:

- სტრატეგიის განხორციელება;

- სტრატეგიის განხორციელების შედეგების შეფასება, კერძოდ KPI-ების შეფასება, მათი შედარება მიზნობრივ მნიშვნელობებთან;
- მიღებული შედეგების მიხედვით შემდეგ ეტაპზე - ან სტრატეგიის კონტროლზე გადასვლა ან საჭირო ცვლილებების განხორციელებაზე;
- საჭირო ცვლილებების განხორციელება გულისხმობს სტრატეგიულ ღონისძიებებში, შესაბამის ბიზნეს-პროცესებში ცვლილებების განხორციელება. ბიზნეს-პროცესებში ცვლილებების განხორციელება გულისხმობს ფაქტიურად ბიზნეს-პროცესების გადაროექტებას და მათი შედეგების შემოწმებას KPI-ების მიხედვით - თუ შედეგები არ არის მიღწეული მაშინ გრძელდება მუშაობა ციკლში. ფაქტიურად ბიზნეს-პროცესების დაპროექტება, ანალიზი და შეფასება ხორციელდება აღნიშნულ ეტაპზე. თუ შესაბამისობა მიღწეულია მაშინ ხორციელდება გადასვლა სტრატეგიის განხორციელების კონტროლზე;
- სტრატეგიის განხორციელების კონტროლის ეტაპზე მოწმდება სტრატეგიის განხორციელების დაგეგმილისგან გადახრები, მიზნების და KPI-ების შესაბამისობა. თუ დგინდება გადახრები ან შეუსაბამობა, მაშინ იწყება შესაბამისი ცვლილებების განხორციელება. თუ ცვლილებების განხორციელება არ არის საჭირო, მაშინ გრძელდება სტრატეგიის განხორციელება.



ნახ.1. მაჩვენებლების დაბალანსებული სისტემის გამოყენება ბანკის ბიზნეს-პროცესების დაპროექტებისათვის, ანალიზისთვის და გაუმჯობესებისათვის

შემდეგ ნახაზზე წარმოდგენილია მაჩვენებლების დაბალანსებული სისტემის საფუძველზე ბიზნეს-პროცესების დაპროექტების, ანალიზის შეფასების და გადაპროექტების პროცედურის ბიზნეს-პროცესი (ნახ.1).

1. დასკვნა.

BSC- მეთოდის გამოყენება ბიზნეს-პროცესების დაპროექტებისათვის ატარებს რთულ და კომპლექსურ ხასიათს, ვინაიდან მისი საშუალებით ასევე ხორციელდება თავად სტრატეგიის განხორციელება და დახვეწა.

ბიზნეს-პროცესების გაუმჯობესება კი ხდება ერთიან კომპლექსში მიზნების, მიზნობრივი ინდიკატორების და მათი მნიშვნელობების გამოყენებით ოთხი პერსპექტივის მიხედვით. რაც მნიშვნელოვნად ამაღწენს ბიზნეს-პროცესების ხარისხს, ვინაიდან გათვალისწინებულია ბანკის საქმიანობის ყველა ასპექტი.

შემუშავებული მიდგომის გამოყენება შესაძლებელია ნებისმიერ მსხვილ კომპანიაში იმ შემთხვევაში, თუ ის გადაწყვეტს BSC-მეთოდის დანერგვას და გამოყენებას, რომელიც ერთდროულად არის სტრატეგიის განხორციელების, ორგანიზაციის მუშაობის ეფექტიანობის შეფასების და ბიზნეს-პროცესების დაპროექტების/გადაპროექტების საუკეთესო ინსტრუმენტი.

გამოყენებული ლიტერატურა:

1. Murinde, V., Rizopoulos, E. & Zachariadis, M. 2022. The impact of the FinTech revolution on the future of banking: Opportunities risks. International <https://doi.org/10.1016/j.irfa.2022.102103>
2. Mavlutova I, Spilbergs A, Verdenhofs A, Natrins A, Arefjevs I, Volkova T. (2023). Digital Transformation as a Driver of the Financial Sector Sustainable Development: An Impact on Financial Inclusion and Operational Efficiency. Sustainability.15(1):207. <https://doi.org/10.3390/su15010207>
3. მ.თევდორაძე, ს.გოგოლაძე, თ.რუხაძე. ბიზნეს-პროცესების მართვის ინფორმაციული სისტემებისა და ტექნოლოგიების ეფექტიანობა და მისი გავლენა ორგანიზაციის საქმიანობაზე ბანკების მაგალითზე. მონოგრაფია. სტუ, თბილისი, 2017. სტუ-ს ბიბლიოთეკა, CD 3792. 181 გვ.
4. მ.თევდორაძე. საბანკო ინფორმაციული სისტემები და ტექნოლოგიები.სტუ, თბილისი, 2019. სტუ-ს ბიბლიოთეკა CD-6155
5. ნ.მელიქიძე. (2025). ბანკში თანამედროვე ინფორმაციული სისტემების და ტექნოლოგიების ეფექტიანობის შეფასება Balanced Scorecard (BSC) მეთოდის გამოყენებით. *ქართველი მეცნიერები, Vol. 7*, 537-553. doi:doi.org/10.52340/gs.
6. A.Bošković, A.Krstić. (2020). *The Combined Use of Balanced Scorecard and Data Envelopment Analysis in the Banking Industry*. Business Systems Research, Faculty of Economics, University of Kragujevac. Serbia: SCINEDO.
7. მ.თევდორაძე, თ.რუხაძე, ნ.წულუკიძე, თ.ჭილაძე, *ბიზნეს-პროცესების მართვის ინფორმაციული სისტემები (გამოცემა 3 – 2021)*. თბილისი: საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი.სტუ, თბილისი, 2017, სტუ-ს ბიბლიოთეკა, CD 3769
8. მ.თევდორაძე, ნ.მელიქიძე, ნ.ლუდუშაური. (2024). ბანკში თანამედროვე ინფორმაციული ტექნოლოგიების გამოყენების ეფექტიანობის შეფასება. საერთაშორისო კონფერენციის შრომათა კრებული, pp. 42-48, თბ.: სტუ - იმს. ISBN 978-9941-512-80-3

Development of bank business-processes designing' approach

Medea Tevdoradze, Nino Melikidze, Tamta Rukhadze

Georgian Technical University

medeat@gtu.ge, melikidze.nino22@gtu.ge, tamtarukhadze@gtu.ge

Resume

In the given paper it is presented the issue of designing of a bank's business processes, in this regard, the necessity of implementing business processes in a bank, its causes and consequences are discussed. The problems of implementing business processes are characterized. The use of the BSC method is proposed, which is simultaneously the best tool for implementing the strategy and assessing of the bank's effectiveness. The main stages and actions of designing/redesigning a bank's business processes, which are based on the use of the BSC method, are developed and presented. A description and a block diagram of the proposed approach are given.

Keywords: bank business processes, use of BSC method in designing bank business processes

ემოციის ამოცნობა ელექტროენცეფალოგრაფიული სიგნალებიდან ღრმა სწავლების გამოყენებით: ერთ სუბიექტზე დაფუძნებული კვლევა

მარიამ წიკლაური, თათია წმინდაშვილი

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

m.tsiklauri@gtu.ge, tsmindashvili.tatia@gtu.ge

რეზიუმე

ნაშრომის მიზანია ხელოვნური ინტელექტის გამოყენების შესწავლა ემოციების ამოცნობის პროცესში, ლაბორატორიული მოწყობილობით გენერირებული სიგნალების ანალიზის საფუძველზე. გამოყენებულია კვლევის დიზაინი, რომელიც ხასიათდება EEG მონაცემების მრავალფეროვნებით და ეფუძნება მრავალპიროვნულ მონაცემთა ბაზას. კვლევა მიზნად ისახავს ერთი ინდივიდის მონაცემებზე დაფუძნებული, მაღალსიზუსტიანი და პერსონალიზირებული ხელოვნური ინტელექტის მოდელის შექმნას, რომელიც პროგნოზირებს მის ემოციურ მდგომარეობას.

საბოლოოდ, ნაშრომი ადასტურებს, რომ ზუსტი, სანდო და პერსონალიზებული ემოციის ამოცნობა მიღწევადია ლაბორატორიული EEG მოწყობილობისა და რეალური პირობების კვლევითი პროტოკოლების გამოყენებითაც კი. ეს ფოკუსირებული მიდგომა პრაქტიკულ საფუძველს ქმნის უფრო ფართო პოპულაციებზე მასშტაბირებისათვის და ემოციების ამოცნობის ინტეგრაციისათვის ადამიან-კომპიუტერის ურთიერთქმედების (HCI) მრავალფეროვან მოდულებში.

საკვანძო სიტყვები: EEG სიგნალი, ხელოვნური ინტელექტი - ხელოვნური ინტელექტი, CleveLabs. ადამიან-კომპიუტერის ურთიერთქმედების (HCI) მოდულები

1. შესავალი.

თანამედროვე ციფრულ ეპოქაში, ხელოვნური ინტელექტისა (AI) და ნეირომეცნიერების კონვერგენციამ გახსნა ახალი შესაძლებლობები ადამიანის ემოციების უფრო ღრმა გაგებისა და ინტერპრეტაციისთვის. ყველაზე ინფორმაციულ ფიზიოლოგიურ სიგნალებს შორის, ელექტროენცეფალოგრაფიული (EEG) სიგნალები გვაწვდის მნიშვნელოვან ინფორმაციას ტვინის აქტივობის შესახებ, რაც მათ ემოციური მდგომარეობების ამოცნობისა და მოდელირების ძლიერ ინსტრუმენტად აქცევს. EEG მონაცემებზე დაფუძნებული ემოციების ამოცნობა გახდა კრიტიკული კომპონენტი თანამედროვე ადამიან-კომპიუტერის ურთიერთქმედების (HCI) სისტემების განვითარებაში, რომელთა გამოყენება მოიცავს ფსიქოლოგიური მხარდაჭერის სისტემებს, სათამაშო გარემოს, ვირტუალურ რეალობას და ადაპტირებულ მომხმარებლის ინტერფეისებს [1,2].

ამ მიზნის მისაღწევად, კვლევა მოიცავს რამდენიმე ძირითად სფეროს:

- EEG მონაცემების შეგროვება კონტროლირებად ექსპერიმენტულ პირობებში;
- EEG-ით ემოციების ამოცნობის თანამედროვე პრაქტიკისა და საჯაროდ ხელმისაწვდომი მონაცემთა ნაკრებების მიმოხილვა;
- EEG სიგნალების წინასწარი დამუშავების მეთოდები მონაცემების ხარისხისა და სანდოობის უზრუნველსაყოფად;
- მონაცემების ეფექტური წარმოდგენისთვის ნიშნების ამოღებისა და შერჩევის მეთოდები;
- მანქანური სწავლების რამდენიმე მოდელის ტრენინგი, ვალიდაცია და შედარებითი შეფასება;

- ექსპერიმენტული შედეგების კომპლექსური ანალიზი და ინტერპრეტაცია.

2. მასალები და მეთოდები

მონაცემთა ჩასაწერად შეირჩა მამრობითი სქესის სუბიექტი. ამისათვის გამოვიყენეთ ტექნიკური უნივერსიტეტის ლაბორატორია და CleveLabs-ის ელექტროენცეფალოგრაფი შვიდი ელექტროდის ნაკრებით. ელექტროენცეფალოგრამის მონაცემები ჩაიწერა ოთხ არხში: ორი მათგანი იწერდა შუბლის წილიდან მომავალ სიგნალს, ხოლო დანარჩენი ორი - კეფის წილიდან. სუბიექტი ლაბორატორიაში დილით მივიდა და არ მიუღია კოფეინის შემცველი დანამატები. სურათი 1 გვიჩვენებს ბიორადიოსა და თავზე განთავსებული 10/20 ელექტროდების სისტემის დიაგრამას [4].



სურათი 1. ექსპერიმენტის მიმდინარეობა

ჩვენი ვიდეოჩანაწერის ექსპერიმენტი დაახლოებით 3 საათს გაგრძელდა, თითოეული ვიდეო არ აღემატებოდა 3 წუთს, ზოგი კი 15 წამსაც კი. ექსპერიმენტის დროს ჩვენ არ შევკმენით ხმაურის ჩახშობისთვის განსაკუთრებული პირობები, რადგან მიზანი ასევე არის ემოციების ამოცნობის შესაძლებლობის შემოწმება რეალურ ცხოვრებაში და არაექსპერიმენტულ პირობებში.

ამ კვლევის მთავარი მიზანი იყო ემოციების ამოცნობის ხელოვნური ინტელექტის მოდელის შემუშავება და ინტეგრირება EEG მონაცემების გამოყენებით. ამის გასაადვილებლად გამოყენებული იქნა „EEGAIN“ ჩარჩო. ეს ჩარჩო სპეციალურად შექმნილი იყო ემოციების ამოცნობის ამოცანებისთვის EEG სიგნალების დამუშავების გასამარტივებლად და სტანდარტიზაციისთვის ხელოვნური ინტელექტის ტექნიკის გამოყენებით. EEGAIN შედგება ექვსი ჩაშენებული EEG მონაცემთა ნაკრებისა და ოთხი წინასწარ დანერგილი ღრმა სწავლების მოდელისგან. თუმცა, რადგან ამ კვლევაში გამოყენებული EEG მონაცემები შეგროვდა სხვადასხვა შეგროვების სისტემის გამოყენებით (მაგ., CleveLabs მოწყობილობა), საჭირო იყო მონაცემთა დამუშავების მორგებული მექანიზმის დანერგვა ჩარჩოსთან თავსებადობის უზრუნველსაყოფად [5,6].

ამის მისაღწევად შემუშავდა სპეციალიზებული Python კლასი, სახელწოდებით CleveLabs. ეს კლასი აფარტოებს EEGAIN ჩარჩოს მიერ მოწოდებულ საბაზისო EEGDataset კლასს, რომელიც განსაზღვრავს EEG მონაცემების მართვის ძირითად ფუნქციონალს. Get-trials მეთოდი, კლასის კრიტიკული კომპონენტი, მორგებული იყო CleveLabs მოწყობილობის გამოყენებით ჩაწერილი სესიებიდან მონაცემების ამოსაღებად და დასამუშავებლად. ეს მეთოდი ასრულებს რამდენიმე

დავალებას, მათ შორის სესიის ფაილების სახელების წაკითხვას, EEG სიგნალის მონაცემების ჩატვირთვას და მის სტრუქტურირებას MNE ბიბლიოთეკასთან თავსებად ფორმატში, რომელიც ფართოდ გამოიყენება Python ბიბლიოთეკაში EEG-სა და სხვა ნეიროფიზიოლოგიური მონაცემების დასამუშავებლად [7].

3. მსჯელობა:

ექსპერიმენტული ცვლადები მოიცავდა:

- ხელოვნური ინტელექტის მოდელები: გამოცდილი იქნა ღრმა სწავლების ოთხი არქიტექტურა - TSception, EEGNet, DeepConvNet და ShallowConvNet [8,9,10].
- სწავლის სიჩქარე: გამოცდილი იქნა ორი მნიშვნელობა - 0.001 და 0.0001.
- რეგულარიზაციის პარამეტრები: ხელახალი სწავლების კონტროლისთვის გამოყენებული იქნა 0,1 და 0 მნიშვნელობები.
- ტრენინგის ეპოქები: შედარებული იქნა ტრენინგის სამი ხანგრძლივობა - 10, 40 და 500 ეპოქა.

სულ, ჩატარდა 50 სხვადასხვა ექსპერიმენტი ამ პარამეტრების სისტემატური ვარიაციით. შედეგებმა მოგვაწოდა ღირებული ინფორმაცია მოდელის ქცევის შესახებ სხვადასხვა კონფიგურაციაში და აჩვენა მისი უნარი, ამოიცნოს ემოციები EEG სიგნალების გამოყენებით რეალურ პირობებში. შედეგები კიდევ უფრო ამყარებს იმედს, რომ ხელოვნური ინტელექტი ნეირომეცნიერებასთან ინტეგრირდება ემოციური ინტელექტის მქონე სისტემების განვითარების მიზნით.

ექსპერიმენტული ანალიზის ჩასატარებლად შემუშავდა მოდულური Python სკრიპტი, რომელიც საშუალებას იძლევა ცალკეული ექსპერიმენტების ჩასატარებლად გარკვეული პარამეტრების ცვლილებებით. ვინაიდან თითოეული გაშვებისთვის საჭირო იყო პარამეტრების მხოლოდ შეზღუდული ნაკრების შეცვლა, როგორცაა მოდელის ტიპი, ტრენინგის სიჩქარე, რეგულარიზაციის კოეფიციენტი და ტრენინგის ეპოქების რაოდენობა, ყველა 50 ექსპერიმენტი განისაზღვრა ერთ ფორმატში. ეს ექსპერიმენტები ჩატარდა Google Collaboratory-ის (Google Colab) გამოყენებით - Google-ის ღრუბლოვანი პლატფორმის გამოყენებით, რომელიც გთავაზობთ Jupyter Notebook გარემოს, რომელზეც წვდომა პირდაპირ ვებ ბრაუზერის საშუალებითაა შესაძლებელი.

4. შედეგები:

საწყისი ექსპერიმენტული შეფასებების გარდა, ჩატარდა დამატებითი ტესტები შედეგების შემთხვევითობის შესაფასებლად. ამ ეტაპს გადამწყვეტი გავლენა ჰქონდა იმის დადასტურებაზე, რომ დაკვირვებული შედეგები ნამდვილად განპირობებულია მოდელის ეფექტური ტრენინგით და არა შემთხვევითობით ან ზედმეტი ტრენინგით.

Model	LR	REG	Epoch	Acc	F1	F1_weighted
RANDOM				0.31	0.31	0.32
Tsception	0.001	0	40	0.60	0.63	0.57
DeepConvNet	0.0001	0.1	40	0.65	0.65	0.57
ShallowConvNet	0.001	0	10	0.57	0.58	0.53
EEGNet	0.001	0.1	500	0.72	0.71	0.68

ცხრილი 1. 50 ექსპერიმენტული ცდის შედეგების ნიმუში. ცხრილის სვეტები ასახავს შემდეგ პარამეტრებს:

- მოდელი - ღრმა სწავლებისთვის გამოყენებული არქიტექტურა (მაგ., EEGNet, TSception და ა.შ.);
- LR - სწავლის სიჩქარე;
- REG - რეგულარიზაციის პარამეტრი;
- ეპოქა - ტრენინგის ეპოქების რაოდენობა;
- მეტრიკა F1 - სტანდარტული შეფასება F1, რომელიც ასახავს მოდელის სიზუსტეს და სისრულეს;
- შეწონილი მეტრიკა F1 - ყველა კლასის F1 ქულების შეწონილი საშუალო, კორექტირებული კლასის დისბალანსისთვის.

მოდელის ქცევის სანდო და რეალისტური გაგების მისაღებად აუცილებელია სამივე მეტრიკის - სიზუსტის, F1-ისა და F1-შეწონილის - ფრთხილად შეფასება.

ექსპერიმენტული შედეგების ანალიზმა გამოავლინა რამდენიმე ძირითადი ტენდენცია

- რეგულარიზაციის პარამეტრის ჩართვამ მუდმივად გააუმჯობესა მოდელის მუშაობა ზედმეტი ვარჯიშის შემცირების გამო, რითაც მოდელი სტიმულირებული იყო უფრო ეფექტური განზოგადებისთვის და არა ვარჯიშის მონაცემების დამახსოვრებისკენ.
- სხვადასხვა გამოცდილ კონფიგურაციებს შორის, EEGNet არქიტექტურამ 500 ვარჯიშის ეპოქით უზრუნველყო ყველაზე ეფექტური და სტაბილური მუშაობა ყველა შეფასების მეტრიკაზე.
- შედეგების ხარისხი შთამბეჭდავია, გამოყენებული EEG ელექტროდების შეზღუდული რაოდენობისა და ჩაწერის დროს ფონური ხმაურის არსებობის გათვალისწინებით - ორივე ფაქტორი ასახავს რეალისტურ, არალაბორატორიულ პირობებს.

ეს შედეგები ხაზს უსვამს EEG-ზე დაფუძნებული ემოციების ამოცნობის სისტემების მნიშვნელოვან პოტენციალს, განსაკუთრებით რეალურ აპლიკაციებში, სადაც უპირატესობა ენიჭება იაფ აღჭურვილობას და მინიმალურ შეზღუდვებს. ამ მიდგომის წარმატება ადასტურებს ხელოვნური ინტელექტის გამოყენების უფრო ფართო პერსპექტივას EEG-ზე დაფუძნებულ პერსონალიზებულ ემოციების ამოცნობის სისტემებში.

5. დასკვნა.

ამ კვლევაში გამოკვლეული იქნა ხელოვნური ინტელექტის მეთოდების გამოყენება ემოციების ამოცნობისთვის ელექტროენცეფალოგრაფიული (EEG) სიგნალების გამოყენებით. შედეგები აჩვენებს, რომ თანამედროვე ხელოვნური ინტელექტის მეთოდები, მათ შორის ნეირონული ქსელების და მანქანური სწავლების ალგორითმების შესწავლა, მნიშვნელოვნად ზრდის ემოციების კლასიფიკაციის სიზუსტეს და ეფექტურობას EEG მონაცემებზე დაყრდნობით.

ექსპერიმენტების შედეგები მოწმობს იმ ფაქტს, რომ ემოციების ზუსტი ამოცნობის მიღწევა შესაძლებელია წინასწარი დამუშავების მეთოდების, მონაცემთა სეგმენტაციის სტრატეგიების და ტრენინგის პარამეტრების ფრთხილად შერჩევით. აღსანიშნავია, რომ EEGNet მოდელი მუდმივად აჩვენებდა მაღალ შედეგებს, რაც ადასტურებს მის პოტენციალს რეალურ სამყაროში ინტეგრაციისთვის.

კვლევა ასევე ხაზს უსვამს ემოციების ამოცნობის სიცოცხლისუნარიანობას რეალისტურ, არალაბორატორიულ პირობებში, სადაც გარე ხმაური და გამარტივებული ელექტროდების

კონფიგურაციები განზრახ არ იყო ჩახშობილი. ეს პრაქტიკული მიდგომა ზრდის კვლევის აქტუალობას, რადგან ის შეესაბამება გამოყენების სცენარებს.

კვლევის შედეგები პერსპექტიულ შესაძლებლობებს ქმნის EEG-ზე დაფუძნებული ემოციების ამოცნობის სხვადასხვა სფეროში, როგორცაა სამედიცინო დიაგნოსტიკა, ფსიქიკური ჯანმრთელობის მონიტორინგი, ადაპტური ადამიან-კომპიუტერის ინტერფეისები და აფექტური გამოთვლითი სისტემები. გარდა ამისა, ეს ერთი ობიექტის, ხმაურისადმი მდგრადი მოდელი შეიძლება გახდეს საფუძველი მომავალი კვლევებისთვის, რომლებიც მიზნად ისახავს პოპულაციის უფრო ფართო განზოგადებას და უფრო რთული მრავალ-ობიექტიანი მოდელების შექმნას.

გამოყენებული ლიტერატურა:

1. Britton, Jeffrey W, and Frey, Lauren C, and Hopp, Jennifer L, and Korb, Pearce, and Koubeissi, Mohamad Z., and Lievens, William E, and Pestana-Knight, Elia M, and St Louis, Erk. Electroencephalography (EEG): An introductory text and atlas of normal and abnormal findings in adults, children, and infants (2016).
2. M. Teplan. Fundamentals of EEG measurement (2002).
3. Dzedzickis, Andrius and Kaklauskas, Artras and Bucinskas, Vytautas. Human emotion recognition: Review of sensors and methods (2020).
4. G. Gigilashvili, I. Gotsiridze, Z. Mgaloblishvili, Z. Ghurtskaia, M. Tsiklauri. Medical Engineering Laboratory System (2012). https://gtu.ge/book/clevemed_lab.pdf
5. N.Kukhilava, T.Tsmindashvili, R.Kalandadze, A.Gupta, S.Katamadze, F. Brémont, L.M. Ferrari, P. M Müller, and B. E. Wirth. Evaluation in EEG Emotion Recognition: State-of-the-Art Review and Unified Framework (2025).<https://github.com/EmotionLab/EEGain>
6. Gramfort, Alexandre, and Luessi, Martin, and Larson, Eric, and Engemann, Denis A, and Strohmeier, Daniel, and Brodbeck, Christian, and Parkkonen, Lauri, and Hinen, Matti. MNE software for processing MEG and EEG data (2014).
7. Ji, Shuiwang and Xu, Wei and Yang, Ming and Yu, Kai. 3D convolutional neural networks for human action recognition (2012).
8. Ding, Yi, and Robinson, Neethu, and Zhang, Su, and Zeng, Qiuhaio, and Guan, Cuntai. TSception: Capturing Temporal Dynamics and Spatial Asymmetry From EEG for Emotion Recognition (2022).
9. Lawhern, Vernon J, and Solon, Amelia J, and Waytowich, Nicholas R., and Gordon, Stephen M, and Hung, Chou P., and Lance, Brent J. EEGNet: a compact convolutional neural network for EEG-based brain-computer interfaces (2018).

Emotion Recognition from Electroencephalography Using Deep Learning: A Single-Subject Study

Mariam Tsiklauri, Tatia Tsmindashvili

Georgian Technical University, Georgia.

m.tsiklauri@gtu.ge, tsmindashvili.tatia@gtu.ge

Abstract

This paper investigates the use of artificial intelligence for emotion recognition from EEG signals collected with a low-cost headset in ecologically valid conditions. We adopt a design with substantial variability of EEG data, which is a large, multisubject dataset. By concentrating on one individual, we aim to build a highly accurate, personalized AI model that predicts that person's emotional states.

Overall, this paper demonstrates that precise, reliable, and personalized emotion recognition is achievable even with a lightweight headset and real-world protocols. This focused approach provides a practical springboard for scaling to larger populations and integrating emotion detection into diverse human-computer interaction (HCI) modules.

Keywords: EEG signal, AI-artificial intelligence, CleveLabs. Human-Computer Interaction (HCI) modules.

მიმდევრობითი არქიტექტურა - თანამედროვე ტენდენცია ინტერფეისების განვითარების სფეროში

ალექსანდრე ბენაშვილი, ეკატერინე გვარამია

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

a.benashvili@gtu.ge, e.gvaramia@gtu.ge

რეზიუმე

კომპიუტერების განვითარების საწყის ეტაპებზე ინტერფეისების სფეროში უპირატესობა ინფორმაციის პარალელურ გადაცემას ენიჭებოდა, ხოლო სალტის გამტარუნარიანობის ზრდა მისი თანრიგეანობის და სამუშაო სიხშირის ზრდით მიიღწეოდა. თუმცა ინტერფეისების განვითარების თანამედროვე ეტაპზე პარალელური ინტერფეისების მიმდევრობითი ინტერფეისებით ჩანაცვლების ტენდენციაა გამოკვეთილი.

სტატიაში განხილულია თანამედროვე ინტერფეისების განვითარების ტენდენციები. გაკეთებულია თანამედროვე პარალელური და მიმდევრობითი სალტების შედარებითი ანალიზი. გაკეთებულია დასკვნა როგორც სისტემური, ასევე სპეციალიზირებული ერთგამტარიანი ინტერფეისების მიმდევრობითი დაბალვოლტიანი დიფერენციალური სალტებით ჩანაცვლების მიზანშეწონილობის შესახებ.

თანამედროვე ინტერფეისების განვითარების კიდევ ერთ ტენდენციას მათი უნიფიკაცია და სტანდარტიზაცია წარმოადგენს. სტატიაში წარმოდგენილია შესაბამისი მაგალითი და ხელსშემშლელი ფაქტორები, რაც აფერხებს ინტერფეისების რაოდენობის შემცირებას და შესაბამისად კომპიუტერის არქიტექტურის გამარტივებას.

საკვანძო სიტყვები: კომპიუტერის არქიტექტურა, ინტერფეისები, პარალელური ინტერფეისები, მიმდევრობითი ინტერფეისები, ინტერფეისების მახასიათებლები

1. შესავალი

ინტერფეისები პერსონალური კომპიუტერის ერთ-ერთი მნიშვნელოვანი კომპონენტებია. მათი საშუალებით ხდება მონაცემების გაცვლა როგორც კომპიუტერის სხვადასხვა ბლოკებს, ასევე კომპიუტერსა და შემტან-გამომტან მოწყობილობებს შორის.

ინფორმაციის გადაცემა კომპიუტერის ბლოკებს შორის ჩვეულებრივ ელექტრული ან ოპტიკური ხაზებით რეალიზდება. თუმცა თანამედროვე კომპიუტერულ სისტემებში ინფორმაციის გადაცემის უგამტარო მეთოდიც გამოიყენება, რის ილუსტრაციასაც Wi-fi, Bluetooth და სხვა რადიოსიხშირული სტანდარტების ფართო გავრცელება წარმოადგენს [1].

თანამედროვე კომპიუტერებში სტანდარტული ინტერფეისები გამოიყენება, რაც მრავალი სხვადასხვა ტიპის, დანიშნულების, სწრაფქმედების, მუშაობის პრინციპებით განსხვავებული მოწყობილობის კომპიუტერთან შეერთების საშუალებას იძლევა.

2. ძირითადი ნაწილი.

დღესდღეობით კომპიუტერში მხარდაჭერილია ინფორმაციის დამუშავების როგორც პარალელური, ასევე მიმდევრობითი არქიტექტურა, თუმცა ინტერფეისების სფეროში თვალსაჩინოა მონაცემების მიმდევრობითი გადაცემის უპირატესობები პარალელურ გადაცემასთან შედარებით [2]. ეს შემდეგი მიზეზებითაა განპირობებული:

- პარალელურ ინტერფეისებით ინფორმაციის გადაცემისას ადგილი აქვს გადაცემული სიგნალების ფაზურ ძვრას, რაც მნიშვნელოვნად ზღუდავს პარალელური ინტერფეისის კაბელის შესაძლებელ სიგრძეს და სამუშაო სიხშირეს;
- პარალელური ინტერფეისებთან შედარებით მიმდევრობითი ინტერფეისები გამტარების მცირე რაოდენობას შეიცავენ, ამიტომ შეფერხებები, რომლებიც სიგნალების გადაცემისას წარმოიქმნება, უმნიშვნელოა პარალელური ინტერფეისთან შედარებით;
- გამტარების მცირე რაოდენობის გამო მიმდევრობითი ინტერფეისები ბევრად იაფია პარალელური ინტერფეისების კაბელებთან შედარებით;
- კაბელის ეკრანიების მიმართ წაყენებული მოთხოვნები მიმდევრობით ინტერფეისებში ბევრად ნაკლებია პარალელური ინტერფეისის კაბელებთან შედარებით.
- მაღალ სიხშირეებზე მუშაობის დროს პარალელურ ინტერფეისები დიდი ელექტრომაგნიტური გამოსხივებით გამოირჩევიან;
- პარალელურ ინტერფეისებში გამოყენებული მაღალი ძაბვის სიგნალების მიღება თანამედროვე, მაღალ სიხშირეებზე მომუშავე მიკროსქემების გამოსასვლელებიდან გართულებულია.
- მიმდევრობით ინტერფეისებში შესაძლებელია თანამედროვე ტრანზისტორებისთვის მიღწევადი გეგაჰერცობით სიხშირის მიღება, რაც გამორიცხულია პარალელური ინტერფეისების შემთხვევაში.

ინტერფეისების სფეროში აგრეთვე მნიშვნელოვანია, თუ ელექტრული სიგნალების გადაცემის რომელი მეთოდი გამოიყენება. თანამედროვე სისტემებში რეალიზებულია როგორც ერთგამტარიანი, ასევე დიფერენციალური ინტერფეისები [3]. ერთგამტარიანი (SE – Single-ended) ტექნოლოგია შედარებით იაფია, თუმცა მაღალ სიხშირეებზე მუშაობის დროს თვალსაჩინო ხდება წარმადობის შეზღუდულობის და შეფერხებების პრობლემები. ერთგამტარიანი, ანუ დაუბალანსებელი გადაცემის დროს სიგნალი ორი გამტარით ვრცელდება, რომლებიც, როგორც წესი, გადაგრეხილია შეფერხებების შესამცირებლად (გრხილი წყვილი). ერთ გამტარს სამუშაო ძაბვა მიეწოდება, ხოლო მეორე - დამიწებულია. დაბალი შეფერხებამდეგობის გამო არადაბალანსებული სალტის კაბელის მაქსიმალური სიგრძე შეზღუდულია.

დიფერენციალური (LVD – Low Voltage Differential) გადაცემის დროს თითოეული სიგნალისთვის კავშირის ორგამტარიანი ხაზი გამოიყენება. პირველ გამტარზე, ისევე, როგორც ერთგამტარიანი სალტის შემთხვევაში, პირდაპირი სიგნალი მიეწოდება, ხოლო მეორე გამტარზე - სიგნალის ინვერსიული მნიშვნელობა (საპირისპირო ძაბვა). მონაცემების გადაცემის დიფერენციალური მეთოდის გამოყენება ზრდის სალტის შეფერხებამდეგობას. ამის შედეგად შესაძლებელია სალტის სამუშაო სიხშირის და კაბელის სიგრძის ზრდა.

ტრადიციულ პარალელურ ინტერფეისებში, როგორც წესი, სიგნალების გადაცემის ერთგამტარიანი მეთოდი გამოიყენება, ხოლო თანამედროვე მიმდევრობითი ინტერფეისები მონაცემთა გადაცემისთვის გამტარების დიფერენციალურ წყვილებს იყენებენ.

თუმცა პრობლემებისგან თავისუფალი არც მიმდევრობითი ინტერფეისია. გადაცემულ მონაცემებში 1-ების, ან 0-ების გრძელი ჯაჭვის არსებობა დაუშვებელია, რადგან სიგნალების გადახრის გამო იზრდება შეცდომების დაშვების ალბათობა. ამ პრობლემის თავიდან ასაცილებლად ტრადიციულ მიმდევრობით RS-232 ინტერფეისში Start და Stop ბიტები გამოიყენება [4], ხოლო თანამედროვე მიმდევრობით ინტერფეისებში - სპეციალური კოდირების მეთოდები [2].

თანამედროვე კომპიუტერებისათვის დე-ფაქტო სტანდარტს ფირმა Intel-ის მიერ დამუშავებული PCI (Peripheral Component Interconnect — პერიფერიული კომპონენტების დამაკავშირებელი) სალტე წარმოადგენს [5]. პარალელური PCI ინტერფეისის თანდათანობითი ჩანაცვლება მიმდევრობითი PCI Express ინტერფეისით კიდევ ერთხელ ადასტურებს პერსონალური კომპიუტერის ინტერფეისების პარალელური არქიტექტურიდან მიმდევრობით არქიტექტურაზე გადასვლის ტენდენციას. 1-ელ ცხრილში წარმოდგენილია სხვადასხვა ვერსიის პარალელური PCI და მიმდევრობითი PCI Express 1.0 ინტერფეისების მახასიათებლები.

ცხრილი 1

PCI/PCI Express 1.0 ინტერფეისების მახასიათებლები

PCI სალტის ტიპი	თანრიგაიანობა, ბიტი	სალტის სიხშირე, მგჰც	მონაცემთა ციკლები/ ტაქტი	მონაცემთა გადაცემის სიჩქარე, მბაიტი/წმ
PCI 2.0	32	66	1	266
64-თანრიგა PCI	64	66	1	533
PCI-X 533	64	133	4	4266
PCI Express 1.0	1	2500	0,8	250
PCI Express 1.0	16	2500	0,8	8000

აღსანიშნავია, რომ პარალელური PCI ინტერფეისის დაბალი სწრაფქმდება თვალსაჩინო იყო ჯერ კიდევ PCI Express ინტერფეისის გამოშვებამდე. ამიტომ ვიდეობარათების მხარდაჭერისთვის გამოიყენებოდა სპეციალიზირებული პარალელური AGP ინტერფეისი შემდეგი მახასიათებლებით (ცხრილი 2) [2].

ცხრილი 2

AGP ინტერფეისების მახასიათებლები

AGP სტანდარტი	თანრიგაიანობა, ბიტი	სალტის სიხშირე, მგჰც	მონაცემთა ციკლები/ ტაქტი	მონაცემთა გადაცემის სიჩქარე, მბაიტი/წმ
AGP 1x	32	66	1	266
AGP 2x	32	66	2	533
AGP 4x	32	66	4	1066
AGP 8x	32	66	8	2133

საინტერესოა, რომ მიუხედავად პარალელურ PCI ინტერფეისთან შედარებით მაღალი მახასიათებლებისა, AGP ინტერფეისი აღარ გამოიყენება. მიზეზი შემდეგში მდგომარეობს: მაღალი პარამეტრების გრაფიკის უზრუნველსაყოფად ჩვეულებრივ PCI Express x16 სტანდარტის ვიდეობარათები გამოიყენება, ხოლო დანარჩენ შემთხვევაში უმჯობესია პროცესორში ინტეგრირებული სხვადასხვა მახასიათებლების მქონე ვიდეოკონტროლერის გამოყენება.

აღსანიშნავია, რომ PCI Express ინტერფეისი განუწყვეტლივ ვითარდება. დღემდე რეალიზებულია ინტერფეისის შვიდი ვერსია. PCI Express 1.0 და 2.0 ვერსიებში სტანდარტით გათვალისწინებულია 8b/10b (b - ბიტი) კოდირება. ამ დროს სალტეზე ნებისმიერი ბაიტი (8 ბიტი) გარდაიქმნება 10-ბიტაიან თანმიმდევრობად, რომელშიც 1-ების და 0-ების რაოდენობა დაბალანსებულია (არაუმცირეს ოთხი, არაუმეტეს ექვსი). 8b/10b კოდირების მეთოდი

სიგნალების ავტოსინქრონიზაციას განაპირობებს (გამოირიცხება 1-ების, ან 0-ების გრძელი ჯაჭვი) და სალტზე მონაცემების მაღალი სიხშირით გადაცემის საშუალებას იძლევა.

აღსანიშნავია, რომ PCI Express 3.0-5.0 სტანდარტებში არა 8b/10b (რომელიც 20%-ით ამცირებს სალტის გამტარუნარიანობას), არამედ 128/130b, ხოლო PCI Express 6.0-7.0 სტანდარტებში - 242b/256b კოდირების მეთოდი გამოიყენება, რაც ფაქტიურ გავლენას არ ახდენს სალტის გამტარუნარიანობაზე.

მე-3 ცხრილში წარმოდგენილია PCI Express ინტერფეისის ვერსიები და მათი მახასიათებლები.

ცხრილი 3

PCI Express 1.0 - PCI Express 7.0 ინტერფეისების მახასიათებლები

სალტის ვერსია	გამოშვების თარიღი	კოდირება	გადაცემის სიჩქარე გტ/წმ	სალტის გამტარუნარიანობა (გბ/წმ)*	
				×1	×16
1.0	2002	8b/10b	2,5	0,25	4
2.0	2007	8b/10b	5	0,5	8
3.0	2010	128b/130b	8	0,984	15,753
4.0	2017	128b/130b	16	1,969	31,506
5.0	2019	128b/130b	32	3,938	63,015
6.0	2022	242b/256b	64	7,563	121,000
7.0	2025	242b/256b	128	15,125	242,000

* სალტის გამტარუნარიანობა ინფორმაციის ერთი მიმართულებით გადაცემის დროს. რამდენადაც სალტე დუბლექსურია, სალტის სრული გამტარუნარიანობის საანგარიშოდ ცხრილში წარმოდგენილი მონაცემები 2-ზე უნდა გამრავლდეს.

აღსანიშნავია, რომ 2028 წელს ნაგარაუდევია PCI Express 8.0 ვერსიის გამოშვება. ცნობილია მისი გადაცემის სიჩქარე - 256 გტ/წმ. შესაბამისად, PCI Express 7.0-თან შედარებით ორჯერ გაიზრდება სალტის გამტარუნარიანობა.

ანალოგიური სიტუაციაა დისკური მოწყობილობების ინტერფეისების სფეროშიც, სადაც მოხდა პარალელური ATA ინტერფეისის მიმდევრობითი SATA ინტერფეისით ჩანაცვლება. ყველაზე მაღალი სწრაფქმედების მქონე პარალელური ATA-7 ინტერფეისის გამტარუნარიანობა 133 მბ/წმ-ს შეადგენს და მისი გაზრდა შესაძლებელია, თუმცა არა-ეკონომიურია მიმდევრობითი SATA ინტერფეისზე მიღებული სიჩქარეების გათვალისწინებით (ცხრილი 4) [6].

ცხრილი 4

SATA ინტერფეისების მახასიათებლები

SATA ტიპი	სალტის სიგანე, ბიტი	სალტის სიხშირე, მგჰც	ციკლების რაოდენობა ტაქტში	გამტარუნარიანობა, მბაიტი/წმ
SATA-1	1	150	0,8	1500
SATA-2	1	300	0,8	3000
SATA-3	1	600	0,8	6000

უნდა აღინიშნოს, რომ PCI და ATA ინტერფეისების შესაბამისად PCI Express და SATA ინტერფეისებით ჩანაცვლება პროგრამულ სირთულეებს არ აწყდება, რადგან ცვლილებები

ეხება მხოლოდ ინფორმაციის გადაცემის ფიზიკურ დონეს, ოპერაციული სისტემისა და დრაივერების დონეზე კი არაფერი არ იცვლება.

წლების განმავლობაში პარალელურ არქიტექტურაზე იყო დაფუძნებული სისტემური ინტერფეისები FSB და HUB, რომელთა საშუალებითაც შესაბამისად პროცესორი უკავშირდებოდა სისტემური პლატის ჩრდილოეთ ხიდს, ხოლო ჩრდილოეთ ხიდი - სამხრეთ ხიდს. თუმცა ჩრდილოეთ ხიდის პროცესორში ინტეგრაციის შემდეგ ორი ინტერფეისის გამოყენება ზედმეტი გახდა. ამჟამად ისინი ჩანაცვლებულია მიმდევრობითი DMI ინტერფეისით, რომლის საშუალებითაც პროცესორი სისტემური პლატის სამხრეთ ხიდს უკავშირდება [7].

DMI ინტერფეისი მსგავსია PCI Express ინტერფეისისა. პერსონალურ კომპიუტერებში რვარხიანი, ან ოთხარხიანი ($\times 8$ ან $\times 4$) შეერთება გამოიყენება, ხოლო მობილურ სისტემებში - უმეტესად ორარხიანი ($\times 2$) შეერთება. პირველი ოთხარხიანი DMI 1.0 ვერსია უზრუნველყოფს 1 გბ/წმ გადაცემის სიჩქარეს, ხოლო რვარხიანი DMI 1.0 ვერსია - 2 გბ/წმ გადაცემის სიჩქარეს, დღემდე დამუშავებულია DMI ინტერფეისის ოთხი ვერსია. ყოველი მათგანი ორჯერ მაღალი სწრაფქმედებით გამოირჩევა წინამორბედ ვერსიასთან შედარებით.

აღსანიშნავია თანამედროვე ინტერფეისების კიდევ ერთი დამახასიათებელი თვისება - ურთიერთქმედების წესების უნიფიკაცია, რაც ინფორმაციული, ელექტრული და კონსტრუქციული შეთავსებადობის უზრუნველყოფისკენაა მიმართული. ფუნდამენტურ პრინციპებს თანამედროვე ინტერფეისების დაპროექტებისათვის სწორედ უნიფიკაცია და სტანდარტიზაცია წარმოადგენენ. აგრეთვე მნიშვნელოვანია კომპიუტერის არქიტექტურის გამარტივება.

თანამედროვე მიმდევრობითი ინტერფეისების ანალიზი აჩვენებს, რომ არქიტექტურულად ისინი მსგავსია. ამის მაგალითია M.2 ინტერფეისი, რომელიც ითავსებს PCI Express ინტერფეისის ოთხ არხს, SATA 3.0, USB 3.0 ინტერფეისებს და მოცემულ ეტაპზე უმეტესად მაღალი სწრაფქმედების SSD დამგროვებლების სისტემურ პლატასთან კავშირისთვის გამოიყენება. მაშინ ისმის კითხვა, რა საჭიროა ამდენი ინტერფეისი, როდესაც საკმარისი იქნება სისტემაში მხოლოდ ერთი მიმდევრობითი ინტერფეისის, მაგალითად PCI Express-ის არსებობა. ინტერფეისის გამტარუნარიანობის რეგულირება შესაძლებელი იქნება სალტის სიხშირისა და ჩართული არხების რაოდენობის მიხედვით, ხოლო კონკრეტული პარამეტრების შერჩევა მოხდება სალტზე ჩართული მოწყობილობის მოთხოვნილებების მიხედვით.

პასუხი მარტივია, თითოეული ინტერფეისის დამუშავებაში ჩადებულია უზარმაზარი რესურსი, რეალიზებულია მრავალი მოწყობილობა. ინტერფეისების გაერთიანებისთვის საჭირო იქნება მნიშვნელოვანი აპარატურული და პროგრამულ ცვლილებების შეტანა კომპიუტერის არქიტექტურაში, რაც უახლოეს პერიოდში ნაკლებსავარაუდოა.

3. დასკვნა

სტატიაში განხილულია თანამედროვე ინტერფეისების განვითარების ტენდენციები. გაანალიზებულია მათი მახასიათებლები. გაკეთებულია თანამედროვე პარალელური და მიმდევრობითი ინტერფეისების შედარებითი ანალიზი. გაკეთებულია დასკვნა როგორც უნივერსალური, ასევე სპეციალიზირებული ერთგამტარიანი ინტერფეისების მიმდევრობითი დაბალვოლტიანი დიფერენციალური ინტერფეისებით ჩანაცვლების მიზანშეწონილობის შესახებ.

გამოყენებული ლიტერატურა:

- [1] ა. ბენაშვილი, ს. სულხანიშვილი. კომპიუტერის სტრუქტურული ორგანიზაცია. თბ. „საქართველოს უნივერსიტეტი“. 2020.
- [2] ა. ბენაშვილი, გ. ბენაშვილი. პერსონალური კომპიუტერის არქიტექტურა. მე-3 გამოცემა. I ნაწილი. თბ. „საქართველოს უნივერსიტეტი“. 2017.
- [3] Upgrading and Repairing PCs 22th Edition Scott Mueller. 2015.
- [4] <https://circuitdigest.com/article/rs232-serial-communication-protocol-basics-specifications>
- [5] <https://www.pcmag.com/encyclopedia/term/pci-express>
- [6] <https://www.techtarget.com/searchstorage/definition/Serial-ATA>
- [7] <https://www.intel.com/content/www/us/en/support/articles/000094185/processors.html>

Serial architecture – a modern trend in the field of interface development

Alexander Benashvili, Eka Gvaramia

Georgian Technical University

a.benashvili@gtu.ge, e.gvaramia@gtu.ge

Summary

At the initial stages of computer technology development, preference in the field of interfaces was given to parallel data transfer, and an increase in the interface throughput was achieved by increasing its bit depth and operating frequency. However, at the current stage of interface development, there is an obvious tendency to replace parallel interfaces with serial ones.

The article examines the trends in the development of modern interfaces. A comparative analysis of modern parallel and serial interfaces is conducted. A conclusion is made about the feasibility of replacing both system and specialized single-wire interfaces with serial low-voltage differential interfaces.

Another trend in the development of modern interfaces is their unification and standardization. The article provides a corresponding example and indicates the restraining factors that prevent a reduction in the number of interfaces and, accordingly, simplification of the computer architecture.

Keywords: computer architecture, interfaces, parallel interfaces, serial interfaces, interface characteristics

ნეირონული ქსელების ინტეგრაცია BGP მარშრუტიზაციაში: ინტერნეტის უსაფრთხოებისა და ეფექტიანობის ახალი მიდგომა

გურამ აჭარაძე, გიორგი კირცხალია, მაია ჭოლიკიძე

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

guramiacharadze@gmail.com, kirtskhaliagiorgi08@gtu.ge, cholikidzemaia08@gtu.ge

რეზიუმე

სტატიაში განხილულია BGP (Border Gateway Protocol)-ის როლი ინტერნეტის სტაბილური ფუნქციონირების უზრუნველყოფის პროცესში და მისი არსებითი გამოწვევები. აღნიშნული პროტოკოლი წარმოადგენს ავტონომიურ სისტემებს შორის მარშრუტების გაცვლის ძირითად მექანიზმს, თუმცა მასთან დაკავშირებულია რიგი პრობლემები, მათ შორის, უსაფრთხოების უზრუნველყოფის სირთულე, კონფიგურაციის კომპლექსურობა, პოლიტიკის მართვის სირთულე და გლობალური გავლენა ქსელის სტაბილურობაზე.

თანამედროვე კვლევითი მიდგომები ყურადღებას ამახვილებს ნეირონული ქსელების ინტეგრაციაზე BGP მარშრუტიზაციის პროცესში. აღნიშნული ინტეგრაცია შესაძლებელს ხდის მონაცემთა ავტომატიზებულ შეგროვებასა და ანალიზს, მოდელის სწავლებას, ანომალიების რეალურ დროში აღმოჩენასა და მათზე ავტომატურ რეაგირებას. ხელოვნური ინტელექტის მეთოდების გამოყენება ხელს უწყობს მარშრუტების ოპტიმიზაციას, გადაწყვეტილების მიღების გამჭვირვალობასა და ადაპტირებადობას დინამიკურ ქსელურ გარემოში.

ნეირონული ქსელების დანერგვა BGP მარშრუტიზაციაში მნიშვნელოვნად ზრდის სისტემის სტაბილურობას, უსაფრთხოებასა და ოპერაციულ ეფექტიანობას. იგი ამცირებს ადამიანური შეცდომების რისკს, აუმჯობესებს მარშრუტების მართვის ხარისხს და ზრდის ქსელის გამტარიანობას. შედეგად, ნეირონული ქსელების ინტეგრაცია განიხილება, როგორც პერსპექტიული გზა ინტერნეტის გლობალური ინფრასტრუქტურის მართვისა და მისი მდგრადი განვითარების უზრუნველსაყოფად.

საკვანძო სიტყვები: BGP (Border Gateway Protocol), მარშრუტიზაცია, ნეირონული ქსელები, ხელოვნური ინტელექტი (AI)

1. შესავალი.

ინტერნეტის ფუნქციონირება დიდად არის დამოკიდებული მარშრუტიზაციის პროტოკოლებზე, რომელთა შორის BGP ერთ-ერთ მნიშვნელოვან როლს ასრულებს. BGP უზრუნველყოფს ავტონომიურ სისტემებს (AS) შორის მარშრუტების გაცვლას და წარმოადგენს ინტერნეტის „ხერხემალს“.

BGP საშუალებას აძლევს სხვადასხვა დამოუკიდებელ ერთეულს (კომპანიებს ან ISP-ებს, რომლებიც ავტონომიურ სისტემებად აღიარებულია) დაკავშირდნენ ერთმანეთს. თითოეული AS იდენტიფიცირებულია უნიკალური ნომრით (ASN - ავტონომიური სისტემის ნომერი) და აქვს კავშირები სხვა AS-ებთან, როგორიცაა მომხმარებლები და პროვაიდერები.

BGP-ს მთავარი უპირატესობა არის შესაძლებლობა, AS-ებს განახორციელონ საკუთარი მარშრუტიზაციის პოლიტიკა კომერციული შეთანხმებების შესაბამისად. მაგალითად, AS შესაძლოა არ სურდეს მარშრუტის რეკლამირება სხვა AS-თან, რათა თავიდან აიცილოს არასასურველი ტრაფიკი.

BGP არის ვექტორული მარშრუტიზაციის პროტოკოლი: თითოეული მარშრუტი აღწერილია AS-ების მიმდევრობით, რაც ხელს უშლის მარშრუტიზაციის ციკლების წარმოქმნას. თუ AS ხედავს საკუთარ ASN-ს მარშრუტში, ის არ გამოიყენებს ამ მარშრუტს, რათა არ შეიქმნას ციკლი.

2. ძირითადი ნაწილი

BGP პროტოკოლის ძირითადი პრობლემები. BGP, როგორც ინტერნეტის გლობალური მარშრუტიზაციის პროტოკოლი, გადის რამდენიმე მნიშვნელოვან გამოწვევას, რომლებიც გავლენას ახდენენ ქსელის სტაბილურობაზე, უსაფრთხოებაზე და მართვადობაზე:

უსაფრთხოების ნაკლებობა BGP-ს არ აქვს მექანიზმი მარშრუტების ნამდვილობის შემოწმებისთვის. მავნე ან შეცდომით კონფიგურირებულ AS-ებს შეუძლია გაავრცელონ ყალბი მარშრუტები (BGP hijack), რაც საფრთხეს უქმნის ქსელს.

კონფიგურაციის სირთულე. BGP-ის მართვა მოითხოვს დეტალურ ცოდნას. ადამიანური შეცდომები, როგორიცაა არასწორად დაწერილი პოლიტიკა ან მარშრუტის ფილტრი, იწვევს მარშრუტების არასწორ გადამისამართებას და შეფერხებებს..

მარშრუტების გაფართოების პრობლემა. IPv4 და IPv6 მარშრუტების მუდმივი ზრდა ზრდის მარშრუტიზატორების მეხსიერების და გამტარობის მოთხოვნებს. მარშრუტების დამუშავება ხდება უფრო რთული და საჭიროებს მრავალ რესურსს. **დაგვიანებული კონვერგენცია.** ახალი ან გაუქმებული მარშრუტის დანერგვის შემდეგ BGP-ს სჭირდება დრო სტაბილური მდგომარეობის აღსადგენად, რაც აფერხებს რეალურ დროში რეაქციას..

პოლიტიკის მართვის სირთულე. BGP პოლიტიკა განსაზღვრავს, როგორ აირჩევს ქსელი მარშრუტს. მისი სწორად ფორმულირება რთულია, ხოლო გლობალური გავლენის პროგნოზირება - კიდევ უფრო რთული. ოპერატორები ხშირად ვერ ხედავენ, როგორ მოქმედებს მათი გადაწყვეტილება გლობალურ მარშრუტიზაციაზე.

გაუმჯობესება. BGP გადაწყვეტილებები ხშირად რთულად გასაგებია. არ ჩანს შიდა ლოგიკა, რაც ართულებს დიაგნოსტიკას და troubleshooting-ს.

გლობალური დამოკიდებულება. ერთი შეცდომა ან მავნე მოქმედება ერთ AS-ში შეიძლება სწრაფად გავრცელდეს მთელ ინტერნეტზე. ლოკალური პრობლემა ხდება გლობალური შეფერხების მიზეზი.

ნეირონული ქსელებით BGP პროტოკოლის გაუმჯობესებისთვის.

ნეირონული ქსელების ინტეგრაცია BGP (Border Gateway Protocol)-ში მიზნად ისახავს მარშრუტიზაციის პროცესის ოპტიმიზაციას, უსაფრთხოების გაძლიერებას და გადაწყვეტილებების გამჭვირვალობის ზრდას. სტატიაში შემოთავაზებულია ეტაპობრივი ალგორითმი, რომელიც აჩვენებს, როგორ შეიძლება ნეირონული ქსელები გამოყენებულ იქნას BGP-ის მუშაობის გასაუმჯობესებლად:

1. მონაცემების შეგროვება. პირველ ეტაპზე ხორციელდება BGP ლოგების, მარშრუტების ცხრილების, ტრაფიკის სტატისტიკის და კონფიგურაციული მონაცემების შეგროვება. შეიკრიბება როგორც ისტორიული, ისე რეალურ დროში მიღებული ინფორმაცია, რაც აუცილებელია მოდელის სწავლისთვის.

$$X=\{x_1,x_2,...,x_n\},$$

სადაც x_i შეიცავს BGP ლოგებს, მარშრუტების ცხრილებს, ტრაფიკის სტატისტიკას და კონფიგურაციულ პარამეტრებს, როგორც რეალურ დროში, ასევე ისტორიული მონაცემებიდან.

2. მონაცემთა წინასწარი დამუშავება. ამ ეტაპზე ხდება შეგროვებული მონაცემები გასუფთავება შეცდომებისგან, დუბლირებული ჩანაწერებისგან და არასაჭირო ატრიბუტებისგან. მონაცემები ნორმალიზდება, რათა მოდელმა შეძლოს სწორი შაბლონების ამოცნობა. ამ ეტაპზე ხდება მონაცემების კლასიფიკაცია. მაგალითად, ნორმალური და არანორმალური მარშრუტების დაყოფა.

$$x = \frac{x_i - \alpha}{\beta}$$

სადაც, α საშუალო მნიშვნელობა, β სტანდარტული გადახრა. კლასიფიკაცია ხდება ფუნქციით:

$$y_i = \begin{cases} 0, & \text{ნორმალური მარშრუტი} \\ 1, & \text{არანორმალური მარშრუტი} \end{cases}$$

3. მოდელის ტრენინგი. ნეირონული ქსელი სწავლობს ისტორიული მონაცემების საფუძველზე. მოდელი სწავლობს, როგორ გამოიყურება ნორმალური მარშრუტიზაციის პროცესი და როგორია ანომალიების ნიმუშები. გამოიყენება supervised ან unsupervised სწავლება, იმის მიხედვით, რამდენადაა ცნობილი ცნობილი სწორი პასუხები.

4. ანომალიების ამოცნობა. გაწვრთნილი ნეირონული ქსელი რეალურ დროში ამოწმებს BGP-მარშრუტებს და გამოარჩევს საეჭვო ან არასწორ კონფიგურაციებს. მოდელი აფიქსირებს ისეთი მოვლენებს, როგორიცაა BGP hijacking, route leak ან არასწორი პრეფიქსები.

რეალურ დროში ნეირონული ქსელი განსაზღვრავს მარშრუტების სიგნალს s_i :

$$s_i = f(q(\tilde{x}_i))$$

და განსაზღვრავს, არის თუ არა მარშრუტი ანომალური:

$$y_i = \begin{cases} 0, & s_i < \gamma \\ 1, & s_i > \gamma \end{cases}$$

სადაც γ წინასწარ განსაზღვრული ზღვრული მნიშვნელობაა.

5. გაფრთხილება და რეაგირება. აღმოჩენილი ანომალიების შემთხვევაში სისტემა ავტომატურად აგზავნის გაფრთხილებას ადმინისტრატორთან ან ახორციელებს წინასწარ განსაზღვრულ მოქმედებას - მაგალითად, ბლოკავს საეჭვო მარშრუტს ან ცვლის პოლიტიკას.

6. ოპტიმიზაციის შემოთავაზება. ნეირონული ქსელი აფასებს მარშრუტების შესრულების ეფექტურობას (latency, packet loss, bandwidth) და გვთავაზობს ოპტიმიზაციის გზებს - მაგალითად, ალტერნატიული მარშრუტის შერჩევას ნაკლები დაგვიანებით.

7. დაუმუშავებელი გადაწყვეტილებების ახსნა. Explainable AI (XAI) მეთოდების გამოყენებით შესაძლებელია ახსნა, რატომ მიიღო მოდელმა კონკრეტული გადაწყვეტილება. ეს ზრდის გამჭვირვალობას და აადვილებს troubleshooting-ს.

8. მუდმივი სწავლება. სისტემა აგრძელებს სწავლებას ახალი მონაცემების საფუძველზე, რათა ადაპტირდეს ქსელის დინამიურ ცვლილებებთან. ამ გზით, ნეირონული ქსელი დროთა განმავლობაში უფრო ზუსტ და სტაბილურ პროგნოზებს იძლევა.

მოდელი რეგულარულად განახლდება ახალი მონაცემებით X_n -ით.

3. დასკვნა

ნეირონული ქსელების ინტეგრაცია BGP-ის სისტემაში უზრუნველყოფს მარშრუტიზაციის უფრო სტაბილურ, მოქნილ და ინტელექტუალურ მართვას. მათი გამოყენება ხელს უწყობს ანომალიების დროულ აღმოჩენას, კონფიგურაციული შეცდომების შემცირებას და გადაწყვეტილებების ეფექტურ მიღებას რეალურ დროში. შედეგად, ინტერნეტ ქსელის მუშაობა

ხდება უფრო საიმედო, უსაფრთხო და გამტარიანი, რაც მნიშვნელოვან წვლილს შეაქვს გლობალური ინტერნეტ ინფრასტრუქტურის მართვის გაუმჯობესებაში.

გამოყენებული ლიტერატურა:

1. **Hammood, N. H., Al-Musawi, B., & Alhilali, A. H.** (2022). A Survey of BGP Anomaly Detection Using Machine Learning Techniques. In *Communications in Computer and Information Science* (Vol. 109, pp. 109–120). Springer.
2. **Latif, H., Paillissé, J., & Cabellos-Aparicio, A.** (2022). Unveiling the potential of graph neural networks for BGP anomaly detection. In *Proceedings of the 1st International Workshop on Graph Neural Networking*
3. **Bahnasy, M., Li, F., Xiao, S., & Cheng, X.** (2020). DeepBGP: A Machine Learning Approach for BGP Configuration Synthesis. In *Proceedings of the ACM Special Interest Group on Data Communication*
4. **Oleg Namicheishvili, Zhuzhuna Gogiashvili, Mzia Kiknadze, Guram Acharadze** (2021) "On system output signal generation in the recurrent neural networks" - Tbilisi, Journal „AMIM“ vol. 26, no 1.
5. **Namicheishvili O., Gogiashvili J., Kiknadze M., Gvaramia E.** (2022), « MACHINE INTELLIGENCE IN THE SERVICE OF HUMAN INTELLIGENCE” XIII Annual International Conference of the Union of Mechanics of Georgia, Batumi, August 24-26.

Integration of Neural Networks into BGP Routing: A New Approach to Internet Security and Efficiency

Guram Acharadze, Giorgi Kirtskhalia, Maia Cholikidze

Georgian Technical University

The article examines the role of BGP (Border Gateway Protocol) in ensuring the stable operation of the Internet and its fundamental challenges. This protocol serves as the primary mechanism for exchanging routes between autonomous systems; however, it is associated with several issues, including security vulnerabilities, configuration complexity, policy management difficulties, and its global impact on network stability.

Contemporary research approaches focus on the integration of neural networks into the BGP routing process. Such integration enables automated data collection and analysis, model training, real-time anomaly detection, and automated response. The application of artificial intelligence methods facilitates route optimization, decision-making transparency, and adaptability in dynamic network environments.

The implementation of neural networks in BGP routing significantly enhances system stability, security, and operational efficiency. It reduces the risk of human error, improves route management quality, and increases network throughput. Consequently, neural network integration is considered a promising approach for improving the management and sustainable development of the global Internet infrastructure.

Keywords: BGP (Border Gateway Protocol), routing, neural networks, artificial intelligence (AI)

BSC-ის მეთოდის ბიზნეს-პროცესების დაპროექტება

მედეა თევდორაძე, ნინო მელიქიძე, ნინო ღუდუშაური

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

medeat@gtu.ge, melikidze.nino22@gtu.ge, ghudushauri.nino22@gtu.ge

რეზიუმე

თანამედროვე ორგანიზაციებისათვის ფრიად მნიშვნელოვანია ეფექტიანი ფუნქციონირება და ინფორმაციული ტექნოლოგიების (IT) გამოყენების ეფექტიანობის ამაღლება, რაც გადამწყვეტია ორგანიზაციების გადარჩენისთვის კონკურენტულ ბრძოლაში. ამასთან დაკავშირებით წარმოიშობა ორგანიზაციის ფუნქციონირების და IT-ის ეფექტიანობის შეფასების საუკეთესო მეთოდის შერჩევა. არსებულებიდან შესაძლებელია ერთ-ერთი მეთოდის გამოკვეთა - BSC (Balanced ScoreCard), რომელიც ხასიათდება თავისი კომპლექსურობით. მისი საშუალებით შესაძლებელია ორგანიზაციის ეფექტიანობის შეფასება სხვადასხვა მიმართულებით. თუმცა მისი განხორციელება საკმაოდ რთულია შეფასების მეთოდის სირთულიდან გამომდინარე. ამასთან ერთად წარმატებული და ეფექტიანი ფუნქციონირებისათვის ფრიად მნიშვნელოვანია ორგანიზაციის პროცესული მართვა, რაც საშუალოდ 30%-ით აამაღლებს ორგანიზაციის ეფექტიანობას. წინამდებარე ნაშრომში განხილულია BSC-მეთოდის ძირითადი არსი, ჩამოყალიბებულია მისი განხორციელების 4 ძირითადი ეტაპი და ჩამოყალიბებულია ყველა ის ოპერაცია, რომელიც უნდა განხორციელდეს მეთოდის თითოეულ ეტაპზე. აგებულია თითოეული ეტაპის ბიზნეს-პროცესი, მოყვანილია ერთ-ერთი ეტაპის ბიზნეს-პროცესის მოდელირება და განხილულია მოდელირების შედეგები.

საკვანძო სიტყვები: ორგანიზაციის ეფექტიანობის შეფასება, BSC (Balanced ScoreCard)-მეთოდი, BSC ბიზნეს-პროცესების დაპროექტება.

1. შესავალი.

დინამიურ გარემოში წარმატების მისაღწევად, ორგანიზაციებს უნდა შეეძლოთ სწრაფად ადაპტირდნენ ბაზრის ცვალეზად გარემოს პირობებთან და გაუსწრონ კონკურენტებს მომსახურების ხარისხით, სიჩქარით, პროდუქტების მრავალფეროვნებით და სხვა. ამისათვის ორგანიზაციებმა უნდა შეძლონ სწორად განსაზღვრონ თავისი სტრატეგია და მოახდინონ ყველა რესურსის მობილიზება დასახული მიზნების მისაღწევად. შესაბამისად საჭიროა სტრატეგიის შემუშავების და განხორციელების ეფექტიანობის შეფასება.

სტრატეგიის განხორციელების პროცესის ერთ-ერთ ინსტრუმენტს, წარმოადგენს მაჩვენებლების დაბალანსებული სისტემა (მდს, BSC - Balanced ScoreCard) (A.Bošković, A.Krstić, 2020). აღნიშნული სისტემა იძლევა საშუალებას შეფასდეს ორგანიზაციის სტრატეგიისა და ფუნქციონირების ეფექტიანობა. სხვა მეთოდებისგან განსხვავებით ის იძლევა შეფასების საშუალებას ორგანიზაციის საქმიანობის ყველა მიმართულებით, ესენია: ფინანსები, კარდები, პროცესები, განვითარება.

პროცესების მიმართულება ცალსახად გვეუბნება, რომ ორგანიზაციის წარმატებული ფუნქციონირებისათვის უმნიშვნელოვანესია მისი პროცესულ მართვაზე გადაყვანა. აღნიშნული ასევე ეხება თავად BSC-ის განხორციელებას, რაც წარმოადგენს წინამდებარე ნაშრომის განხილვის საგანს.

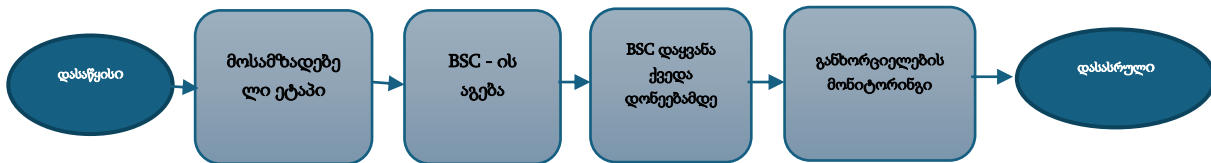
2. ძირითადი ნაწილი.

BSC - არის კომპანიის სტრატეგიული მართვის სისტემა, რომელიც ეფუძნება მისი ეფექტიანობის გაზომვასა და შეფასებას ოპტიმალურად შერჩეული მაჩვენებლების ნაკრებით, რომლებიც ასახავს ორგანიზაციის საქმიანობის ყველა ასპექტს. უნდა აღინიშნოს, რომ BSC-ის ეფექტიანობა დამოკიდებულია მისი დანერგვის წარმართვაზე. თუმცა BSC-ის გამოყენების პროცესი არ არის მარტივი. (d.Ombuna,k.Omido,h.Garashi,o.Oderao.Okaka., 2013)

შესაძლებელია BSC სისტემის დანერგვის განხორციელება დავყოთ ოთხ ეტაპად:

1. BSC-ის შემუშავებისთვის მომზადება; 2. BSC-ის ჩამოყალიბება (სტრატეგიულ დონეზე);
3. BSC დაყვანა ქვედა დონეებამდე; 4. სტრატეგიის შესრულების კონტროლი/მონიტორინგი.

შემდეგ ნახაზზე (ნახ.1) ბიზნეს-პროცესის სახით წარმოდგენილია BSC-ის ეტაპები, რომელიც ჩამოყალიბებულია ზემოთ აღნიშნული თანმიმდევრობით.



ნახ.1. BSC-ის გამოყენების ტრადიციული მიდგომის ბიზნეს-პროცესი

1.BSC-ის მოსამზადებელი ეტაპი

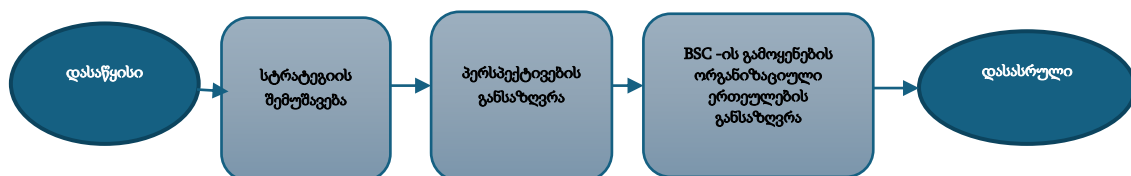
აღნიშნულ ეტაპზე შესაძლებელია გამოვყოთ 3 ძირითადი ნაბიჯი:

სტრატეგიის შემუშავება; პერსპექტივების გამოყოფა; იმ ორგანიზაციული ერთეულების და დონეების განსაზღვრა, რომლებისთვისაც უნდა შეიქმნას მაჩვენებლების დაბალანსებული სისტემა (ნახ.2) (M. Rostami, A.Goudarzi, M. Madanchi., 2015).

BSC არის კონცეფცია **არსებული სტრატეგიების** განსახორციელებლად და არა სრულიად ახალი სტრატეგიების შემუშავებისთვის. ამიტომაც ჯერ უნდა დასრულდეს ორგანიზაციის სტრატეგიის შემუშავება და შემდეგ დაიწყოს მაჩვენებლების დაბალანსებული სისტემის შექმნა.

ითვლება, რომ კომპანიები თავიანთ BSC-ში უნდა ითვალისწინებდნენ **მინიმუმ ოთხ პერსპექტივას**: ფინანსები; კლიენტები; შიდა ბიზნეს-პროცესები; სწავლება და განვითარება. სტრატეგიული მიზნების ფორმულირება, ინდიკატორების შერჩევა და სტრატეგიული ღონისძიებების შემუშავება მრავალი პერსპექტივის მიხედვით მიზნად ისახავს კომპანიის საქმიანობის ყოვლისმომცველი მიმოხილვის უზრუნველყოფას. (O. Akinbowale , H. Klingelhoefer, M.Zerihun, 2022)

განყოფილებების განსაზღვრისას გასათვალისწინებელია შემდეგი: რაც უფრო მეტი განყოფილება იმართება სტრატეგიულად ერთი BSC-ის გამოყენებით, მით უკეთესი იქნება სტრატეგიული მიზნების დაშლა და გადატანა მართვის ზედა დონიდან ქვედაზე.



ნახ. 22. მდს-ის გამოყენების პირველი - მოსამზადებელი ეტაპის ქვე-ბიზნეს პროცესი

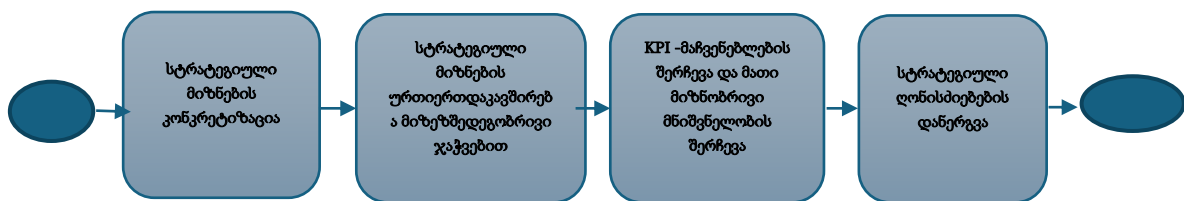
2. BSC-ის ჩამოყალიბება

BSC-ის აგება ხორციელდება შემდეგი ნაბიჯების შესრულებით: **სტრატეგიული მიზნების დაზუსტება**; **სტრატეგიული მიზნების დაკავშირება მიზეზ-შედეგობრივი ჯაჭვებით** ანუ **სტრატეგიული რუკის აგება**; **შესრულების კვანძოვანი ინდიკატორების შერჩევა** და **მათი სამიზნე მნიშვნელობების განსაზღვრა**; **სტრატეგიული ღონისძიებების დამუშავება** (ნახ.3).

სტრატეგიული მართვის სისტემის შესაქმნელად საჭიროა კომპანიის სტრატეგიის დეკომპოზიცია (დანაწევრება, სტრუქტურირება) კონკრეტულ **სტრატეგიულ მიზნებად**, რომლებიც დეტალურად ასახავს სხვადასხვა სტრატეგიულ ასპექტებს. ზოგადად, მიზანი ნიშნავს იმის აღწერას, თუ რა მდგომარეობა უნდა იყოს მომავალში.

სტრატეგიული მიზნებისა და პერსპექტივების ურთიერთკავშირის გრაფიკული ასახვისთვის გამოიყენება სტრატეგიული რუკა. დადგენილი მიზეზ-შედეგობრივი კავშირები ასახავს დამოკიდებულებას ცალკეულ მიზნებს შორის. სტრატეგიული მიზნები ერთმანეთთან მჭიდროდ არიან დაკავშირებული და გავლენას ახდენენ ერთმანეთზე.

BSC-ის ინდიკატორები წარმოადგენს მიზნების მიღწევის საზომებს, სტრატეგიული მიზნის განხორციელებაში წინსვლის შეფასების საშუალებას. ამა თუ იმ ინდიკატორის მიზნობრივი მნიშვნელობის განსაზღვრის მთავარი სირთულე მდგომარეობს იმაში, რომ უნდა განისაზღვროს რეალურად მიღწევადი დონე. (M. Perkins, A. Grey, H. Remmers, 2013).

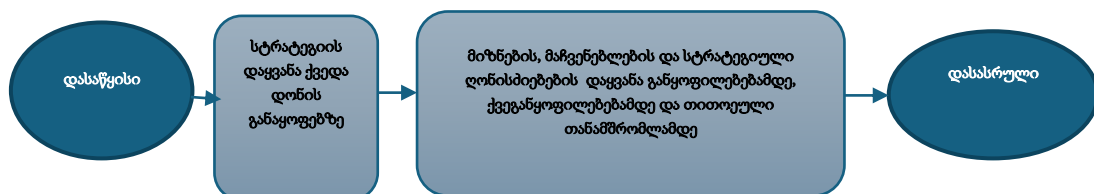


ნახ.3. BSC-ის მეთოდის მეორე ეტაპის - BSC-ის ჩამოყალიბების - ქვე-ბიზნეს პროცესი

სტრატეგიული მიზნების მისაღწევად საჭიროა შესაბამისი **სტრატეგიული ღონისძიებების** განხორციელება. სტრატეგიული ღონისძიებები ეს არის საერთო დასახელება ყველა ღონისძიების, პროექტის, პროგრამისა და ინიციატივისთვის, რომელიც განსახორციელებელია სტრატეგიული მიზნების მისაღწევად.

3. მაჩვენებლების დაბალანსებული სისტემის BSC-ის დაყვანა ქვედა დონეებამდე

ქვედა დონეებამდე დაყვანის დროს (ნახ.4), სტრატეგია, რომელიც მოცემულია BSC-ში, ვრცელდება ყველა დონეზე. ასევე სტრატეგიული მიზნები, ინდიკატორები, მიზნობრივი მნიშვნელობები და გაუმჯობესების მოქმედებები კონკრეტდება და ადაპტირდება ქვედანაყოფებსა და გუნდებში. ანუ, კორპორატიული მაჩვენებლების დაბალანსებული სისტემა უნდა იყოს დაკავშირებული ქვედანაყოფების, განყოფილებების BSC-ებთან და თანამშრომელთა ინდივიდუალურ სამუშაო გეგმებთან.



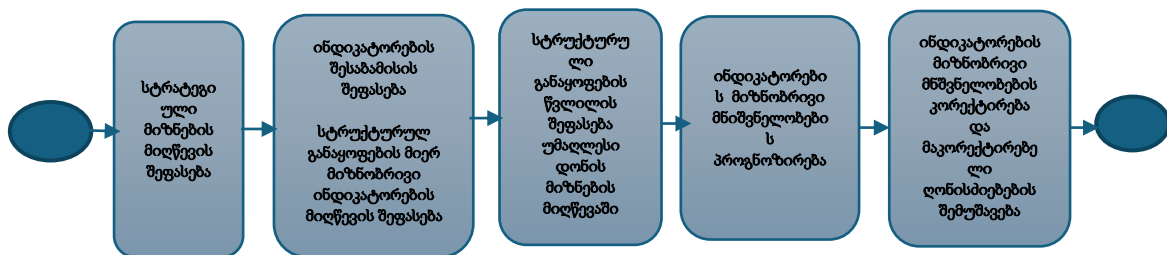
ნახ.4. მეთოდის მესამე ეტაპის ბიზნეს-პროცესი

4. სტრატეგიის შესრულება და შესრულების კონტროლი

მეოთხე ეტაპზე - მაჩვენებლების დაბალანსებული სისტემის გასაუმჯობესებლად, უმაღლესმა ხელმძღვანელობამ და პასუხისმგებელმა პირებმა უნდა გაანალიზონ და შეაფასონ ორგანიზაციის საქმიანობა. სტრატეგიული მიზნები ხასიათდება კომპანიისთვის მაღალი აქტუალობით და ეს მნიშვნელობები უნდა შეფასდეს ყოველწლიურად. ამასთან ერთად, უნდა ჩატარდეს შემდეგი შეფასებები: შერჩეული ინდიკატორების მიერ მიზნების და მიზნობრივი მნიშვნელობების მიღწევის ხარისხის შესაბამისობა; ამ ინდიკატორების გაანგარიშების სიმართლე; სტრუქტურული დანაყოფების მიერ ჩამოყალიბებული ინდიკატორების მიზნობრივი მნიშვნელობების მიღწევა; ზემდგომი ქვედანაყოფების მიერ ინდიკატორების მიზნობრივი მნიშვნელობების მიღწევა; სტრუქტურული დანაყოფების წვლილი უმაღლესი დონის მიზნების მიღწევაში.

ინდიკატორების შეფასება, პირველ რიგში, გულისხმობს იმის გაგებას, თუ რამდენად შესაძლებელია ინდიკატორის რეალური მნიშვნელობის გაანგარიშება საანგარიშო პერიოდის მონაცემების საფუძველზე. გარდა ამისა, საჭიროა დაგეგმილი მნიშვნელობების შედარების ჩატარება ინდიკატორების მიღებული მნიშვნელობებთან, გადახრის მიზეზების დასადგენად. ასეთ ანალიზს თან ახლავს ან ინდიკატორის მიზნობრივი მნიშვნელობის კორექტირება, ან კორექტირების ღონისძიებების შემუშავება, რომლებიც მიმართულია ადრე დადგენილი მიზნობრივი მნიშვნელობის მისაღწევად. გარდა ამისა, მიზანშეწონილია ინდიკატორების მიზნობრივი მნიშვნელობების პროგნოზირება დროის ხანგრძლივი პერიოდის განმავლობაში.

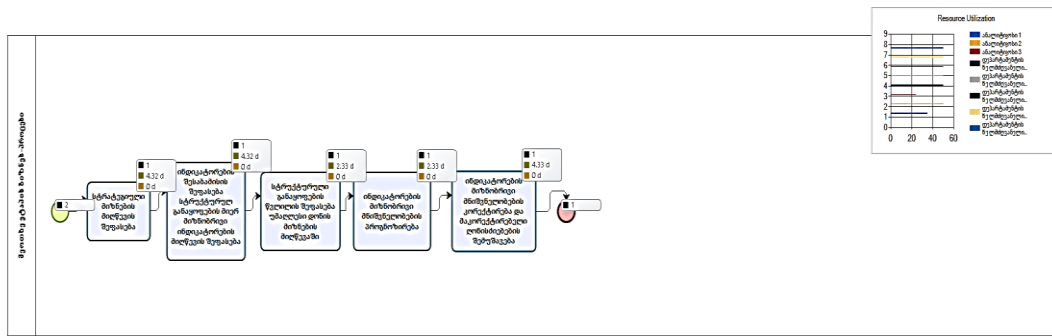
ნახ.5-ზე მოყვანილია მეთოდის მეოთხე ეტაპის ბიზნეს-პროცესი (ნახ.5).



ნახ.5. მეოთხე ეტაპის ბიზნეს-პროცესი

იმისათვის, რომ შეფასდეს მეთოდის ბიზნეს-პროცესი უნდა ჩატარდეს ბიზნეს-პროცესების მოდელირება, ნაშრომში მაგალითისთვის შემუშავებულია მეოთხე ეტაპების ბიზნეს-პროცესის მოდელი, რომელიც აგებულია პროგრამაში BPMN BIZAGI MODELER. მოდელისთვის განსაზღვრულია ისეთი პარამეტრები, როგორიც არის ადამიანური რესურსი, ოპერაციების ხანგრძლივობა, ღირებულება და სხვა ხარჯები. განსაზღვრული პარამეტრებისა და რესურსების გათვალისწინებით ჩატარებულია მოდელირება.

ნახ.6-ზე წარმოდგენილია მოდელის სიმულაციის პროცესი. ხოლო ნახ.7-ზე და 8-ზე მოყვანილია მიღებული შედეგები.



ნახ.6. მეოთხე ეტაპების ბიზნეს-პროცესის მოდელის სიმულაციის პროცესი

Resource	Utilization	Total fixed cost
ანალიტიკოსი 1	15.52 %	10,000
დეპარტამენტის ტელმძღვანელი 1	14.41 %	2,000
ანალიტიკოსი 2	22.16 %	21,000
ანალიტიკოსი 3	14.43 %	7,000
დეპარტამენტის ტელმძღვანელი 2	14.41 %	2,000
დეპარტამენტის ტელმძღვანელი 3	14.41 %	2,000
დეპარტამენტის ტელმძღვანელი 4	14.41 %	2,000
დეპარტამენტის ტელმძღვანელი 5	14.41 %	2,000
Total		48,000

ნახ.7. მეოთხე ეტაპების ბიზნეს-პროცესის მოდელის სიმულაციის პროცესის შედეგი 1

Name	Type	Instances completed	Instances started	Min. time	Max. time	Avg. time	Total time
მეოთხე ეტაპის ბიზნეს-პროცესი	Process	1	2	17d 15h 10m	17d 15h 10m	17d 15h 10m	17d 15h 10m
NoneStart	Start event	2					
სტრატეგიული მიზნების მიღწევის შეფასება	Task	1	2	4d 7h 45m	4d 7h 45m	4d 7h 45m	4d 7h 45m
ინდიკატორების შესაბამისი შეფასება	Task	1	1	4d 7h 45m	4d 7h 45m	4d 7h 45m	4d 7h 45m
სტრატეგიული განაცხადების წვლილის შეფასება	Task	1	1	2d 7h 50m	2d 7h 50m	2d 7h 50m	2d 7h 50m
ინდიკატორების მონიტორინგის შედეგების შეფასება	Task	1	1	2d 7h 55m	2d 7h 55m	2d 7h 55m	2d 7h 55m
ინდიკატორების მონიტორინგის შედეგების შეფასება	Task	1	1	4d 7h 55m	4d 7h 55m	4d 7h 55m	4d 7h 55m
NoneEnd	End event	1					

ნახ.8. მეოთხე ეტაპების ბიზნეს-პროცესის მოდელის სიმულაციის პროცესის შედეგი 2

3. შედეგები

შეგვიძლია დავასალოთ BSC-ის მესამე და მეოთხე ეტაპების შემდეგი შედეგები: განისაზღვრება კომპანიის მთავარი მიზანი, მისი მიღწევის საშუალებები (სტრატეგიული მიზნები), განხორციელდება მიზნების დაყვანა ქვედა დონის ერთეულებზე. შესაბამისად არსებობს სტრატეგიული მიზნები ყველა განყოფილებასა და ქვეგანყოფილებისათვის, და თითოეული განყოფილების წარმომადგენლისთვის ნათელია, თუ რა უნდა გააკეთოს. თითოეულ თანამშრომლეს შეუძლია კარგად გაიაზროს თავისი ადგილი კორპორაციის სტრატეგიის რეალიზაციაში. და ბოლოს აუცილებელია ზემოდან ქვემოთ სტრატეგიის განხორციელების კონტროლი და მართვა. კომპანიის ხელმძღვანელების ხელში ის ხდება ეფექტური ინსტრუმენტი დასახული მიზნის მისაღწევად. შემუშავები ბიზნეს-პროცესების უფრო ნათელს და გამჭვირვალეს ხდიან მეთოდის განხორციელებას. ისინი 30%-ით მაინც აუმჯობესებენ სამუშაოების შესრულებას. გარდა ამისა შემუშავებული ბიზნეს-პროცესები მათი მდოელირების მეშვეობით საშუალებას იძლევიან შერჩეულ იქნას მეთოდის განხორციელების საუკეთესი ვარიანტი.

გამოყენებული ლიტერატურა:

- A.Bošković, A.Krstić. (2020). *The Combined Use of Balanced Scorecard and Data Envelopment Analysis in the Banking Industry*. Business Systems Research, Faculty of Economics, University of Kragujevac. Serbia: SCINEDO.
- d.Ombuna,k.Omido,h.Garashi,o.Oderao.Okaka,. (2013). IMPACT OF BALANCED SCORECARD USAGE ON THE PERFORMANCE OF COMMERCIAL BANKS. *International Journal of Information Technology and Business Management*, 10, 1-9. Retrieved from www.jitbm.com
- M. Perkins, A. Grey, H. Remmers. (2013). What do we really mean by Balanced Scorecard. *IJPPM*, 1-24.
- M. Rostami, A.Goudarzi, M. Madanchi,. (2015). Defining Balanced Scorecard Aspects in Banking Industry Using FAHP Approach. *International Journal of Economics and Business Administration*, 25-38.
- O. Akinbowale , H. Klingelhoefer, M.Zerihun. (2022). *The use of the Balanced Scorecard as a strategic management tool to mitigate cyberfraud in the South African banking industry*. Tshwane: University of Technology (TUT), South Africa. doi:doi.org/10.1016/j.heliyon.

Designing of the BSC-method' business-processes

Medea Tevdoradze, Nino Melikidze, Nino Gudushauri

Georgian Technical University

medeat@gtu.ge , melikidze.nino22@gtu.ge, ghudushauri.nino22@gtu.ge

Rezume

For modern organizations, their effective functioning and increasing of the information technologies effectiveness have great importance, which is crucial for the survival of organizations in the competitive struggle. In this regard, the selection of the best method for assessing the effectiveness of the functioning of the organization arises. It is possible to single out one of the methods - BSC (Balanced ScoreCard), which

is characterized by its completeness and complexity. It allows assessing the effectiveness of the organization in various directions. However, its implementation is quite difficult due to the complexity of the assessment method. In addition, for successful and effective functioning, processes oriented management of the organization's functioning is also very important, which significantly increases the effectiveness of the organization. In this paper it is discussed the main essence of the BSC method, establishes 4 main stages of its implementation, and lists all the operations that must be carried out at each stage of the method. The business process of each stage is constructed, a business process' model of one of the stages is presented, and its results are discussed.

Keywords: Evaluation of the organization's effectiveness, BSC (Balanced ScoreCard) method, BSC business process design.

ახალი Tweakable ბლოკური ალგორითმი

ლევანი ჯულაყიძე¹, ზურაბ ქოჩლაძე², თინათინ კაიშაური¹

¹საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

²ივანე ჯავახიშვილის სახელობის თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტი

julakidzelevan08@gtu.ge, zurab.kochladze@tsu.ge, t.kaishauri@gtu.ge

რეზიუმე

თანამედროვე კრიპტოგრაფია წარმოადგენს ქვაკუთხედს კომპიუტერსა და საკომუნიკაციო უსაფრთხოებას შორის. ის ეფუძნება ისეთ მათემატიკურ ცნებებს როგორიცაა: რიცხვთა თეორია, ალბათობის თეორია, მრავალწევრთა ალგებრა და ა.შ. ნაშრომში წარმოდგენილი და აღწერილია ახალი სიმეტრიული ალგორითმის აგების ორიგინალური მეთოდი. ამ მეთოდის მისაღებად დამუშავებულ იქნა შესაბამისი მასალა, ისეთი როგორებიცაა: სიმეტრიული კრიპტოსისტემა და **tweakable** ბლოკური შიფრები. თანამედროვე კრიპტოგრაფიაში სიმეტრიული ბლოკური შიფრები, რომლებიც აგებულია კლასიკური კრიპტოგრაფიის პრინციპებზე, შეუცვლელნი არიან ღია არხში დიდი მოცულობის კონფიდენციალური ინფორმაციის გადაცემის დროს. ამავე დროს მათ იმდენად დიდი შესაძლებლობები გააჩნიათ, რომ შესაძლებელია მათი გამოყენება სხვადასხვა კრიპტოგრაფიული კონსტრუქციების ასაგებადაც. ამ შიფრების ძირითადი ნაკლია მათი დეტერმინირებულობა. სწორედ ამ ნაკლის გამოსწორების მიზნით, დღეს უკვე არსებობს ე.წ. tweakable ბლოკური შიფრები. ეს მიმართულება წარმოადგენს თანამედროვე კრიპტოგრაფიის ერთ-ერთ ყველაზე ახალ მიმართულებას. ჩვენს ნაშრომში განხილულია ასეთი შიფრის აგების პრობლემა ჰილის ალგორითმის გამოყენებით. როგორც ცნობილია, ჰილის ალგორითმი წარმოადგენს ერთ-ერთ საუკეთესო მეთოდს დიფუზიის მისაღწევად. ნაშრომში ძირითადი ყურადღება ექცევა ჰილის ალგორითმის რეალიზაციას ისე, რომ ალგორითმი იყოს სწრაფი, რაც წარმოადგენს სიმეტრიული ალგორითმების აუცილებელ თვისებას.

საკვანძო სიტყვები: კრიპტოგრაფია, ბლოკური შიფრი, მოდიფიცირებული ჰილის ალგორითმი.

1. შესავალი

როგორც ცნობილია, იმის გამო, რომ ღია გასაღებიანი შიფრების სიჩქარე ძალიან დაბალია, ინფორმაციის კონფიდენციალურობის დასაცავად ძირითადად გამოიყენება სიმეტრიული ბლოკური ალგორითმები. ბლოკური შიფრები ზოგჯერ არსებითად განსხვავდება ერთმანეთისაგან როგორც არქიტექტურით, ასევე გამოყენებული ოპერაციებით და ხშირად რაუნდების რაოდენობების მიხედვითაც, მაგრამ მათი მუშაობის შედეგი ყოველთვის ერთი და იგივეა. **n** სიგრძის ბიტური სტრიქონი, რომლის სტრუქტურაც განსაზღვრულია ღია ტექსტით, **k** სიგრძის გასაღების გამოყენებით, რომელიც ასევე წარმოადგენს **k** სიგრძის ბიტურ სტრიქონს და გარკვეული ოპერაციების გამოყენებით, მრავალჯერადი იტერაციის შემდეგ გადადის ისევ **n** სიგრძის ფსევდოშემთხვევით ბიტურ სტრიქონში. ფაქტობრივად, მათემატიკურად ნებისმიერი ბლოკური შიფრი შეიძლება წარმოვიდგინოთ როგორც ორ ცვლადზე დამოკიდებული ფუნქცია

$$E : \{0,1\}^n \times \{0,1\}^k \longrightarrow \{0,1\}^n \quad (1)$$

სადაც $\{0,1\}^n$ აღნიშნავს **n** სიგრძის ბიტურ სტრიქონს. **k**-ს და **n**-ს მნიშვნელობები კი დამოკიდებულია დამიფრის კონკრეტულ ალგორითმზე.

პრაქტიკულად, თითოეული ფიქსირებული $K \in \{0,1\}^*$ -თვის დაშიფვრის ფუნქცია წარმოადგენს გადანაცვლებას $\{0,1\}^n$ -ზე. როგორც ვიცით, კ. შენონმა თავის ფუნდამენტურ ნაშრომში აჩვენა, რომ არსებობს ასეთი ტიპის ერთადერთი თეორიულად გაუტეხავი სიმეტრიული შიფრი (ერთჯერადი ბლოკნოტი), რომლის წარმატებული ფუნქციონირებისთვის აუცილებელია შემდეგი პირობების შესრულება: გასაღების სიგრძე უნდა იყოს ღია ტექსტის სიგრძის ტოლი, გასაღები უნდა წარმოადგენდეს აბსოლუტურად შემთხვევით მიმდევრობას და გასაღები უნდა გამოვიყენოთ მხოლოდ ერთხელ (ამიტომ უწოდეს ამ შიფრს ერთჯერადი ბლოკნოტი). ცხადია, რომ ასეთი შიფრის გამოყენება ყოველდღიურ პრაქტიკაში ძალიან მოუხერხებელია. ყველა დანარჩენი სიმეტრიული ალგორითმი კი შეიძლება იყოს მხოლოდ გამოთვლადად მედეგი კრიპტოანალიზური შეტევების მიმართ, რაც იმას ნიშნავს, რომ თუ მოწინააღმდეგეს გააჩნია შემოუსაზღვრავი შესაძლებლობები, მას ყოველთვის შეუძლია გატეხოს ასეთი შიფრები [1].

მაგრამ პრაქტიკაში ჩვენ არ გვხვდება მოწინააღმდეგე შემოუსაზღვრავი შესაძლებლობებით, ამიტომ ალგორითმის უსაფრთხოების დადგენის თვალსაზრისით მნიშვნელოვანია ვიპოვოთ რაოდენობრივი თანაფარდობები კრიპტოანალიტიკოსის შესაძლებლობებსა და შიფრის მედეგობას შორის, რაც მოგვცემს საშუალებას რაოდენობრივად შევაფასოთ სიმეტრიული შიფრების უსაფრთხოება კრიპტოანალიზური შეტევების მიმართ.

თუ კრიპტოანალიტიკოსს მიზანია გამოთვალოს გასაღები, მაშინ ბლოკური შიფრების უსაფრთხოების ანალიზი შეიძლება ჩამოვაყალიბოთ შემდეგი ამოცანის სახით: მოცემულია დაშიფვრის ფუნქცია $E_k(M) = C$, სადაც $K \in \{0,1\}^*$ არის უცნობი გასაღები. ამ დროს კრიპტოანალიტიკოსისათვის ცნობილია შესასვლელი და გამოსასვლელი მნიშვნელობების რაიმე q რაოდენობის წყვილები $(M_1, C_1), \dots, (M_q, C_q)$ და ის ცდილობს გამოთვალოს გასაღები.

ამ შემთხვევაში ბლოკური შიფრი იქნება უსაფრთხო, თუ საუკეთესო შეტევა, რომელიც შეუძლია განახორციელოს მოწინააღმდეგემ მოითხოვს ისეთი დიდი რაოდენობის q წყვილებს ან/და გამოთვლის ისეთ დიდ t დროს, რაც აღემატება კრიპტოანალიტიკოსის შესაძლებლობებს. ეს არის უსაფრთხოება გასაღების გამოთვლის მიმართ და იზომება რაოდენობრივად q და t პარამეტრების საშუალებით.

ღია ტექსტის სტრუქტურის დასამალად ყველაზე ეფექტურია ორი გარდაქმნის - მიმოფანტვის (**confusion**) და დიფუზიის (**diffusion**) გამოყენება. მიმოფანტვა არის გარდაქმნა, რომლის მიზანია დამალოს კავშირი გასაღებსა და შიფროტექსტს შორის, ხოლო დიფუზიის მიზანია გახადოს შიფროტექსტის თითოეული სიმბოლო დამოკიდებული ღია ტექსტის ყველა სიმბოლოზე, რაც მოგვცემს საშუალებას დავმალოთ ღია ტექსტის სტრუქტურა. რადგანაც სიმეტრიულ ალგორითმებში შეუძლებელია გამოვიყენოთ რთული მათემატიკური გარდაქმნები (ეს ამცირებს ალგორითმის სწრაფმედებას), ამ მიზნების მისაღწევად თანამედროვე სიმეტრიულ კრიპტოგრაფიაში გამოიყენება ჩანაცვლების და გადანაცვლების ოპერაციები მრავალჯერადი იტერაციებით.

ბლოკური შიფრების კრიპტომედეგობაზე არსებით ზეგავლენას ახდენს ის ფაქტიც, რომ თავისი ბუნებით ბლოკური შიფრები დეტერმინირებული სისტემაა, ანუ ერთი და იგივე ღია ტექსტი ერთი და იგივე გასაღების საშუალებით ყოველთვის გადადის ერთსა და იმავე შიფროტექსტში, რაც ძალიან უადვილებს კრიპტოანალიტიკოსს შიფრის გატეხვას.

ამ ნაკლის დაძლევის ცდილობენ დაშიფვრის რეჟიმების (ძირითადად **CBC** და **CTR** რეჟიმების) გამოყენებით, რომლებშიც გამოიყენება ინიციალიზაციის ვექტორი, რაც საშუალებას გვაძლევს ერთი და იგივე ღია ტექსტი ერთი და იგივე გასაღებით გარდავაქმნათ

სხვადასხვა შიფროტექსტად, მაგრამ ერთი ინიციალიზაციის ვექტორის გამოყენება ხშირად არ არის საკმარისი ღია ტექსტის სტრუქტურის კარგად დასამალად.

2002 წელს გამოქვეყნდა მ. ლისკოვის, რ. რაივესტის და დ. ვაგნერის სტატია, რომელშიც წამოყენებულია იდეა გამოვიყენოთ ინიციალიზაციის ვექტორი არა დაშიფვრის რეჟიმში, არამედ თვით ალგორითმში, ამასთან არა ერთხელ, დასაწყისში, როგორც ეს ხდება დაშიფვრის რეჟიმში, არამედ რამდენჯერმე, თანაბარი ინტერვალებით იტერაციის სხვადასხვა ეტაპებზე. ეს მოგვცემს საშუალებას უფრო კარგად დავმალოთ ღია ტექსტის სტრუქტურა შიფროტექსტში. ასეთ ალგორითმებს ავტორებმა უწოდეს **tweakable** ბლოკური შიფრები [2-5].

ამ სტატიაში განხილულია, ჩვენს მიერ ერთი ასეთი ტიპის ახალი ალგორითმის აგების შესაძლებლობა. იგი იყენებს ჰილის ცნობილი ალგორითმის მოდიფიკაციას, რომელიც საშუალებას გვაძლევს ძალიან სწრაფად შევასრულოთ დიფუზიური გარდაქმნა.

2. ჰილის მოდიფიცირებული ალგორითმი.

ჩვენი მიზანია ავაგოთ ახალი tweakable ბლოკური დაშიფვრის ალგორითმი, რომელშიც ღია ტექსტის სტრუქტურის ეფექტურად დასამალად გამოვიყენებთ ჩვენს მიერ მოდიფიცირებულ ჰილის ალგორითმს.

კრიპტოალგორითმში ხდება **256** ბიტის ბლოკის დაშიფვრა **256** ბიტის სიდუმლო გასაღებით. ალგორითმში შესვლის შემდეგ დასაშიფრი ბლოკი წარმოიდგინება 4×4 -ზე მატრიცის საშუალებით, რომელსაც უწოდებენ მდგომარეობის მატრიცას (ფიგურა 1), სადაც თითოეული a_{ij} წარმოადგენს ორობით ბაიტს. დასაშიფრი ორობითი სტრიქონი ჩაიწერება მატრიცაში მარცხნიდან მარჯვნივ ჰორიზონტალურად.

$$M = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & a_{14} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & a_{24} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} & a_{34} \\ a_{41} & a_{42} & a_{43} & a_{44} \end{pmatrix}$$

ფიგ.1. მატრიცა M

ყველა ოპერაცია, რომელიც სრულდება ალგორითმში დასაშიფრ ტექსტზე სრულდება ამ მატრიცაზე. ამ სტატიაში შევხებით მხოლოდ ერთ ოპერაციას, რომელიც უზრუნველყოფს ღია ტექსტის სტრუქტურის ეფექტურ დამალვას შიფროტექსტში. ეს ოპერაცია მათემატიკურად შეიძლება ჩავწეროთ ძალიან მარტივად:

$$M \times A(\text{mod}256)$$

სადაც **A** წარმოადგენს მატრიცას 4×4 -ზე, რომელსაც აუცილებლად გაჩნია შებრუნებული მატრიცა [6-11].

უფრო მეტი თვალსაჩინოებისათვის განვიხილოთ ჩვენი ალგორითმის 1-ლი ეტაპი დეტალურად.

3. ჩვენი ალგორითმი.

ალგორითმის პარამეტრები:

ბლოკის სიგრძე - 256 ბიტი;

გასაღების სიგრძე - 256 ბიტი;

tweak შესასვლელის სიგრძე - 256 ბიტი;

A და **B** მატრიცები - 4×4 განზომილებიანი.

რაუნდში გამოყენებული ოპერაციები:

ბაიტების ჩანაცვლება მათი მულტიპლიკატორული შებრუნებულებით **GF(2⁸)** ველში;

4 × 4 განზომილებიანი მატრიცის გამრავლება მატრიცაზე მოდულით 256;

გასაღებისა და დასაშიფრი ტექსტის შეკრება ოპერაციით XOR;

tweak მნიშვნელობის და ტექსტის შეკრება ოპერაციით XOR.

როგორც ზემოთ აღვნიშნეთ, ჩვენ შევხებით მხოლოდ ერთ ოპერაციას, რომელიც უზრუნველყოფს ღია ტექსტის სტრუქტურის ეფექტურ დამალვას შიფროტექსტში.

დავუშვათ მოცემული გვაქვს ღია ტექსტი: **Sakartvelo means land of the Kartvelians**. ვიღებთ საწყის 16 სიმბოლოს, გადაგვყავს ASCII კოდში და წარმოვადგენთ 4 × 4 განზომილებიან A მატრიცად:

S	a	k	a	r	t	v	e	83	97	107	97
83	97	107	97	114	116	118	101	114	116	118	101
l	o	space	m	e	a	n	s	108	111	32	109
108	111	32	109	101	97	110	115	101	97	110	115

ფიგ.2. მატრიცა A

შემდეგ ვიღებთ მომდევნო 16 სიმბოლოს, რომელიც ასევე გადაგვყავს ASCII კოდში და წარმოვადგენთ როგორც 4 × 4 განზომილებიან B მატრიცად:

l	a	n	d	space	o	f	space	108	97	110	100
108	97	110	100	32	111	102	32	32	111	102	32
t	h	e	space	K	a	r	t	116	104	101	32
116	104	101	32	75	97	114	116	75	97	114	116

ფიგ. 3. მატრიცა B

ჩვენს მიერ წინასწარ გამოთვლილი N მატრიცა:

-1	-2	-2	-2
2	-1	-2	2
1	1	1	2
-1	1	2	-1

ფიგ.4. მატრიცა N

A მატრიცას ვამრავლებთ N მატრიცაზე, რის შედეგადაც მიიღება ისევ 4 × 4 განზომილებიანი A₁ მატრიცა. მიღებული A₁ მატრიცა დაგვყავს 256-ის მოდულით და გადაგვყავს ორობით სისტემაში:

-73	79	-59	89	183	79	197	89
-127	129	-140	131	129	129	116	131
-189	28	-188	-51	67	28	68	205
-70	100	-56	113	186	100	200	113

183	79	197	89	129	129	116	131
10110111	01001111	11000101	01011001	10000001	10000001	01110100	10000011
67	28	68	205	186	100	200	113
01000011	00011100	01000100	11001101	10111010	01100100	11001000	01110001

ფიგ.5. მატრიცა A₁

ანალოგიური მეთოდით ვმოქმედებთ **B** მატრიცაზე.

ჩვენს მიერ წინასწარ გამოთვლილი **M** მატრიცა:

1	1	1	2
-1	-2	-2	-2
2	-1	-2	2
-1	1	2	-1

ფიგ.6. მატრიცა M

B მატრიცას ვამრავლებთ **M** მატრიცაზე, რის შედეგადაც მიიღება ისევ 4×4 განზომილებიანი **B₁** მატრიცა. მიღებული **B₁** მატრიცა დაგვყავს **256**-ის მოდულით და გადაგვყავს ორობით სისტემაში:

131	-96	-106	142
93	-260	-330	14
182	-161	-230	194
90	-117	-115	68

131	160	150	142
93	252	182	14
182	95	26	194
90	139	141	68

131	160	150	142	93	252	182	14
10000011	10100000	10010110	10001110	01011101	11111100	10110110	00001110
182	95	26	194	90	139	141	68
10110110	01011111	00011010	11000010	01011010	10001011	10001101	01000100

ფიგ.7. მატრიცა B₁

4. გაშიფვრა

გაშიფვრა დაშიფვრის შებრუნებული პროცესია მცირეოდენი განსხვავებით. დაშიფვრის დროს გამოყენებული **N** და **M** მატრიცის ნაცვლად ვიყენებთ **256**-ის მოდულით შებრუნებულ, შესაბამისად **N⁻¹** და **M⁻¹** მატრიცებს. გასაღები რა თქმა უნდა იგივე რჩება [9,10].

-1	2	-2	2
-2	-1	-2	-2
1	1	1	2
1	-1	2	-1

ფიგ.8. მატრიცა N⁻¹

-2	-1	2	2
-2	-2	-1	-2
1	1	1	2
2	1	-1	-1

მატრიცა M⁻¹

5. დასკვნა.

ჩვენ შევხებით მხოლოდ ერთ ოპერაციას (ჩვენს მიერ მოდიფიცირებულს), რომელიც უზრუნველყოფს ღია ტექსტის სტრუქტურის ეფექტურ დამალვას შიფროტექსტში. ჩვენ შემთხვევაში **256** ბიტიდან **136** ბიტმა განიცადა ცვლილება, რაც ძალიან კარგი შედეგია. ალგორითმზე გრძელდება მუშაობა და უახლოეს ხანში გვექნება საშუალება მისი სრულყოფილი სახით წარმოდგენის.

გამოყენებული ლიტერატურა:

1. Shannon C. (1948) Communication theory of secrecy systems. *The Bell System Technical Journal*. 27: 379–423, 623–656.
2. Liskov M., Rivest R.L. (2011) Tweakable Block Ciphers. *J. Cryptol.*, 24: 588-613.
3. Halevi S., Rogaway P. (2003) A Tweakable enciphering mode. *Advances in Cryptology -CRYPTO*. 27, 29: 1-33.
4. Lester S. Hill. (1929) Cryptography in an Algebraic Alphabet. *The American Mathematical Monthly*. 36, 6: 306-312
5. Bibhudendra Acharya, Sarojkumar Panigrahy, Saratkumar Patra, Canapsti Panda. (2009) Image Encryption Using Advanced Hill Cipher Algorithm. *International Journal of Recent Trends in Engineering*. 1, 1.
6. Levani Julakidze, Zurabi Kochladze, Tinatini Kaishauri. New Cryptographic Algorithm. PUBLISHING HOUSE „TECHNICAL UNIVERSITY“, შრომები/Works; (2025), N1(535), ISSN-1512-0996.
<https://doi.org/10.36073/1512-0996>, <https://www.isindexing.com>,
[https://shromebi.gtu.ge/storage/archit/162/1\(535\).pdf](https://shromebi.gtu.ge/storage/archit/162/1(535).pdf).
7. Levani Julakidze, Zurab Kochladze, Tinatin Kaishauri. (2021) New Symmetric Tweakable Block Cipher. *BULLETIN OF THE GEORGIAN NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES*. 15 (1): 13-19.
8. L.E. Julakidze, Z.I. Kochladze, T.V. Kaishauri (2017 by Nova Science Publishers, Inc.) New Tweakable Block Cipher. *Computer Science, Technology and Applications. Information and Computer Technology, Modeling and Control*. ISBN: 978-1-53612-075-2. 50: 505-513.
9. Julakidze L.E., Qochladze Z.I., Kaishauri T.V. (2015) Designing of a new tweakable block cipher by using the modified Hill's algorithm. *Georgian Engineering News*. 73 (1): 44-49 (in Georgian).
10. Julakidze L.E., Qochladze Z.I., Kaishauri T.V. (2015) The new symmetric tweakable block cipher. *Georgian Engineering News*. 73 (1): 50-56 (in Georgian).
11. Julakidze L.E., Qochladze Z.I., Kaishauri T.V. (2015) A Possibility of constructing a new symmetric tweakable block cipher and a method of calculation of Pearsons's correlation coefficient. *Georgian Engineering News*. 76 (4): 39-45 (in Georgian).

New Tweakable Block Algorithm

Levani Julakidze¹, Zurab Kochladze², Tinatin Kaishauri¹¹Georgian Technical University²Ivane Javakhishvili Tbilisi State Universityjulakidzelevan08@gtu.ge , zurab.kochladze@tsu.ge , t.kaishauri@gtu.ge Abstract

Abstract

Modern cryptography is the cornerstone of computer and communications security. Its foundation is based on various concepts of mathematics such as number theory, polynomial algebra, probability theory, etc. In the paper, original method for construction of the new symmetric algorithm is presented and described. In order to obtain the method the appropriate material has been elaborated on: symmetric cryptosystem and tweakable block ciphers. In modern cryptography symmetric block ciphers, which are constructed based upon the principles of the classic cryptography, are irreplaceable while transferring large amounts of confidential information in the open channel. At the same time their capacities are limitless to the extent that it is possible to use them for various cryptographic constructions. General fault of the ciphers is their determination. In order to correct this fault today there are already existing so-called tweakable block ciphers. This direction is the news of the modern cryptography. In our paper the problem of construction of such cipher is overviewed by means of the Hill method. As it is known, Hill algorithm is one of the best methods to achieve diffusion. General attention in the paper is driven to realization of Hill algorithm in the way that, it is fast and presents necessary characteristic of the symmetric algorithm.

Keywords: cryptography. block cipher. Modified Hill's Algorithm.

ქსელის მართვის რესურსების ეფექტური გამოყენება და შემცირებული ოპერაციული ხარჯების ალგორითმი მარინა ქურდაძე, მამუკა გოგაძე, გიორგი მურჯიკნელი

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, თბილისი საქართველო,

m.kurdadze@gtu.ge; m.gogadze@gtu.ge; gurjikneli@gmail.com

რეზიუმე

სატელეკომუნიკაციო ქსელის თავდაპირველი კონფიგურაცია, მიზნად ისახავს საერთო ინტერფეისის მომზადებას, ხარვეზების მონიტორინგს და სისტემის ფუნქციონირების დროითი პარამეტრების პრობლემების გამოკვეთას. ასევე მომხმარებლიდან შემოსული შეტყობინებების (აპარატურული და პროგრამული მტყუნებები) საერთო ბუფერიზაციას.

ამ დინამიურ პროცესში მუდმივი კონტროლი საკითხები ხდება აქტუალური და მოითხოვს: საკომუტაციო მოწყობილობათა ინსტალაციის პრობლემების მოგვარებას, ინტეგრაციის პრობლემებით გამოწვეული საკითხების დაჯგუფებას და გადაჭრას, დიზაინის (სტრუქტურის) და მომხმარებლის მომსახურების გამოცდილების ხელმისაწვდომობას.

შრომში ხაზია გასმული და ნაწილობრივ შეფასებულია გადაცემული მონაცემთა ბლოკების სიზუსტე, დასაშვები ალბათობით, რომელიც გათვლილია დაფარვის, მობილურობის, გამტარობის, დაყოვნების, სისტემის ვიწრო ადგილების გამოვლენის მაჩვენებლებით, რაც სხვადასხვა რადიოწვდომის ტექნოლოგიებს შორის გადართვის დროს არის მხედველობაში მისაღები.

საკვანძო სიტყვები: ინტერფეისი, მონიტორინგი, ბუფერიზაცია, ინსტალაცია, დინამიური პროცესი, კონფიგურაცია, აზიმუტი.

1. შესავალი.

ქსელის მართვის რესურსების ეფექტური გამოყენებისათვის ლიმიტირებული სიმძლავრის პირობებში (შესაძლებლობების მიხედვით) გასათვალისწინებელია ზოგიერთი ასპექტები და მახასიათებლები, რაც სისტემის დაფარვის არეალში ორ კვანძს შორის პარამეტრების მორგებით, სიმძლავრის ცვლილებით და მომსახურება მინიმალური სახით მაინც იქნება ხელმისაწვდომი. ამას კი საერთო ჯამში ამ არეალის დაფარვის კოეფიციენტი განსაზღვრავს.

მომსახურების ტერიტორიაზე, გონივრული ინტერფერენციის დონე უნდა იქნას შენარჩუნებული, ხელმისაწვდომი, ხარისხიანი რადიო ინტერფეისისათვის. ერთი და იგივე სიხშირის განმეორებით/ხელახლა გამოყენების პირობებში, ქსელის გამართული ფუნქციონირებისთვის სიმძლავრის კონტროლის პარამეტრების ოპტიმიზაცია არის განსაკუთრებით მნიშვნელოვანი. სიმძლავრის მართვის პარამეტრების მნიშვნელობების მორგება ხორციელდება სხვადასხვა სცენარების მიხედვით, რათა შემცირდეს სისტემის ინტერფერენცია. ეს პროცესი ასევე მოიცავს ტრაფიკის და მართვის არხების სიმძლავრის კონტროლს.

ხმოვანი ინტერფეისის მომსახურების ხარისხის შენარჩუნება ხდება გადაცემის პროცესში არასანქცირებული გადაცემის თავიდან არიდების ხარჯზე. მობილურობის ოპტიმიზაციის მთავარი ამოცანაა, მომსახურების გადაცემის პარამეტრების მართვით, ჰენდოვერების არეალები გახდეს მეტად აზრიანი. ამ ტერიტორიაზე მომსახურებების გადაცემის პროცესის მართვა ხორციელდება მისანიშნებელი სიგნალის დონით, თუ იგი ძალიან მაღალია, მეზობელ ფიჭაზე გაიზრდება ინტერფერენცია, ხოლო თუ სიგნალის დონე ძალიან დაბალია დაიწყება სესიების გათიშვები და მარტივად მოხდება შეღწევადობის ჩავარდნა. ტევადობის ოპტიმიზაციის

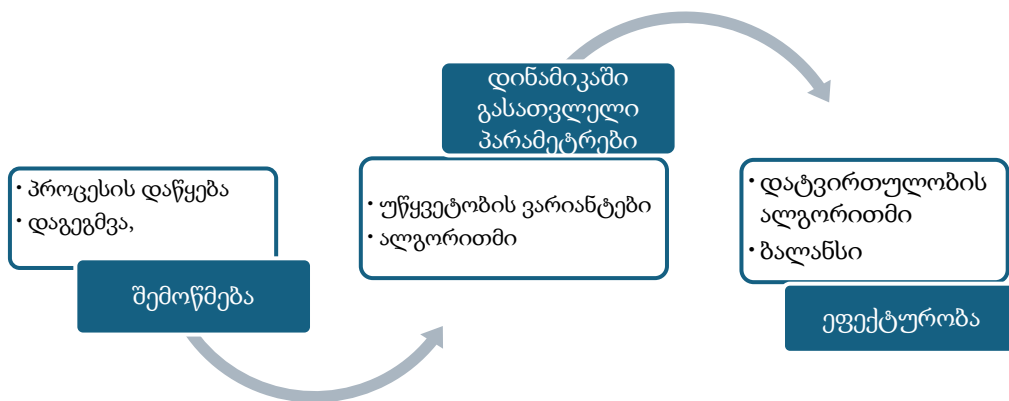
საკითხები მოიცავს ყველა არხის (მართვის არხების ჩათვლით) მოხმარებას, სიმძლავრის და სპექტრის გამოყენებას. ტრაფიკის განაწილებასა და დატვირთების ბალანსს. ხარისხის ოპტიმიზაციის საკითხები მოიცავს ყველა საკვანძო ადგილებს სადაც მართვის პროცესის ოპტიმიზაციაა შესაძლებელი ალტერნატიული ვარიანტებით.

2. ძირითადი ნაწილი

კონფიგურაცია, რომელიც ქსელს თავიდან აქვს, მიზნად ისახავს საერთო ინტერფეისის მომზადებას, ხარვეზების მონიტორინგს და სისტემის ფუნქციონირების დროითი პარამეტრების პრობლემების გამოკვეთას. ასევე მომხმარებლიდან შემოსული შეტყობინებების (აპარატურული და პროგრამული მტყუნებები) საერთო ბუფერიზაციას.

ამ დინამიურ პროცესში, მუდმივად ხდება კონტროლის საკითხები აქტუალური და მოითხოვს: საკომუტაციო მოწყობილობათა ინსტალაციის პრობლემების მოგვარებას, ინტეგრაციის პრობლემებით გამოწვეული საკითხების დაჯგუფებას და გადაჭრას, დიზაინის (სტრუქტურის) და მომხმარებლის მომსახურების გამოცდილების ხელმისაწვდომობას [5]. მიდგომები და მეთოდოლოგია ეფუძნება ზემოთ მოყვანილ მონაცემებზე დაყრდნობით ეფექტურობის მაჩვენებლების კონკრეტულ ამოცანებს და მათემატიკურ მოდელს რათა მოხდეს - სიგნალის გადაცემისა და ხმაურის თანაფარდობა, რომელიც არის ერთ-ერთი ყველაზე მნიშვნელოვანი პარამეტრი უსადენო (wireless) კომუნიკაციებში, განსაკუთრებით მობილურ ქსელებში, რათა მოხდეს მაქსიმიზირება და ყველაზე მაღალი რანგის მოდულაცია. მიღწეულ იქნას საუკეთესო გამტარუნარიანობა რესურს ბლოკზე [3].

სატელეკომუნიკაციო (მობილურ) ქსელებში, რომელიც მომხმარებლის მოწყობილობას აკავშირებს ძირითად ქსელთან, სიგნალის გადაცემადე ხდება, როგორც კვანძთა შორის აპარატურული, ისე ლოგიკური (ინტერფეისები) უზრუნველყოფის ოპტიმიზაციისთვის სავარაუდო მონაცემთა დამუშავება, ასევე გაშვების შემდგომი ოპტიმიზაციის, დინამიკაში გასათვლელი პარამეტრების გათვალისწინება. სქემაზე მოცემულია გათვლების შედეგად მიღებული ოპტიმიზაციის ციკლი, რომელსაც შემდეგნაირი სტრუქტურა აქვს.



RAN (Radio Access Network- რადიო წვდომის ქსელში.) ქსელური ნაწილი, რომელიც უზრუნველყოფს მომხმარებლის მოწყობილობას (მაგ., მობილური ტელეფონი, მოდემი, IoT მოწყობილობა) ოპერატორის საბაზისო ქსელთან კავშირს რადიო ინტერფეისის მეშვეობით. სიგნალის გადაცემადე მახასიათებლების სავარაუდოდ გათვლილი ეფექტურობის თავდაპირველი პარამეტრები ეხმარება მონიტორინგის წარმართვას და აუცილებელს ხდის შემდგომი ციკლის დაწყების შესაძლებლობებს. ასევე RAN-ის პერფორმანსი და დაფარვა დამაკმაყოფილებელი იქნება კომერციული მიზნებისთვისაც.[1]

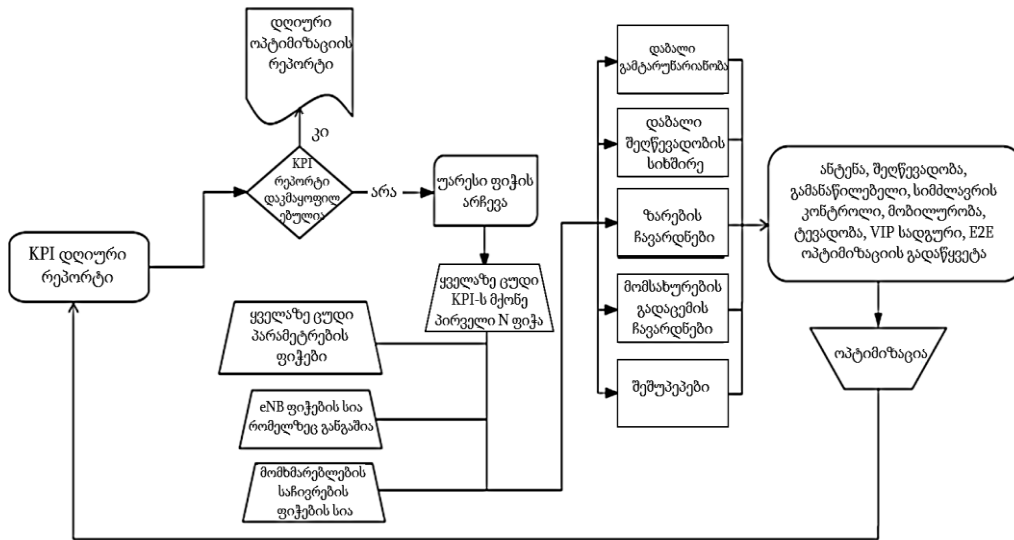
რეალური წვდომისგან განსხვავებით იდეალურ შემთხვევაში, (რაც შემდგომში მისაღწევია) RAN-ის საწყისი ოპტიმიზაცია, უნდა შესრულდეს როგორც ერთი სადგურის გადამოწმებით, ასევე კვანძების დონეზე, ეს უზრუნველყოფს ქსელის ოპტიმიზაციის პროცესის კონტროლს და მართვის გაადვილებას. ერთი სადგურის გადამოწმება მოიცავს ფუნქციის გადამოწმებას და მიზნად ისახავს რომ დავრწმუნდეთ, სადგური დამონტაჟებულია სათანადოდ და პარამეტრები კონფიგურირებული თუა სწორად. კვანძების ოპტიმიზაცია იწყება იმის შემდეგ, როდესაც დაგეგმილ არეალში ყველა სადგური დაინსტალირებულია და გადამოწმებული (ვერიფიცირებული). კვანძები ძირითადად შედგება 20-30 სადგურისგან, რომლებიც ქმნიან თანმიმდევრულ, მომიჯნავე დაფარვას. სადგურების პირველი იარუსი, რომელიც ესაზღვრება კვანძებს, მოახდენენ ზეგავლენას დასაოპტიმიზირებელი კვანძების პარამეტრებზე, ამიტომ ოპტიმიზაციის პროცესში ეს სადგურებიც არიან მხედველობაში მისაღები [2].

მთლიანი ქსელის ოპტიმიზაციის დაწყებისას რეკომენდებულია თავდაპირველად არჩეული იქნეს ერთი კვანძი, პერფორმანსის განვითარების ტესტირებისთვის. დრაივტესტის დახმარებით ოპტიმიზაციისას ხორციელდება პარამეტრების დაკორექტირება სატელიტური ანტენის სპეციალური დიზაინის გამო, რადიაციის სიმკვრივე შეიძლება იყოს კონცენტრირებული გარკვეული სივრცითი მიმართულებით ამ შემთხვევაში ანტენის უდანაკარგო მიმართულების საზომი არის ანტენის მომატება რაც მჭიდროდ არის დაკავშირებული ანტენის მიმართულებასთან. დირექტიულობისგან განსხვავებით, რომელიც მხოლოდ ანტენის მიმართულების მახასიათებლებს აღწერს, ანტენის მომატება ამ შემთხვევაში ასევე ითვალისწინებს ანტენის ეფექტურობას გადაცემის სიმძლავრეებისთვის, მომსახურების გადაცემისთვის. ხორციელდება მეზობელი კვანძების ჩასწორება, რათა მოხდეს ინტერფერენციის მინიმიზაცია და მომსახურების გადაცემის პროცესის მაქსიმალური გაუმჯობესება. ქსელის ოპტიმიზაციის პროცესში კვანძების დონეზე უნდა გადაიხედოს სიხშირული დაგეგმარება და მოხდეს დაკორექტირება, რათა ინტერფერენცია დაყვანილ იქნეს მინიმუმამდე, რაც გამოიწვევს მობილური ქსელის პერფორმანსის გაუმჯობესებას [1].

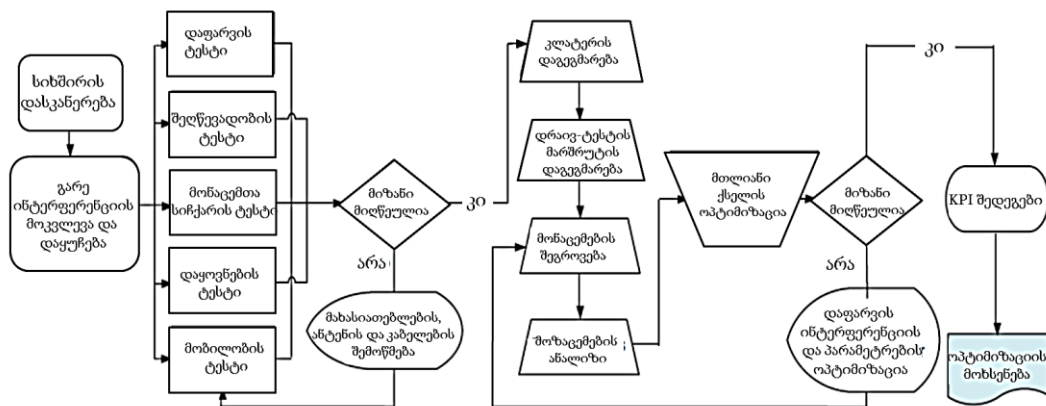
როგორც წესი, ქსელის თავდაპირველი კონფიგურაციის მიზანია, მომზადდეს როგორც საეთერო ინტერფეისი, ასევე გამოიკვეთოს ხარვეზების მონიტორინგის სისტემის პრობლემები და მომხმარებლიდან გამოვლენილი ხარვეზები დროულად იქნეს გამოსწორებული,

კვლევის შედეგი. შედეგად, აუცილებელი ხდება მუდმივი კონტროლი: გადაიჭრას ხელსაწყობის ინსტალაციის პრობლემები, მოწესრიგდეს ინტეგრაციის პრობლემები, გაუმჯობესდეს დიზაინი და მომხმარებლის „შენიშვნები“, რომელიც მოიცავს მომსახურების ხელმისაწვდომობას (დაფარვას), მობილურობას, გამტარობას, დაყოვნებას, სისტემის ვიწრო ადგილების გამოვლენას, საიმედოობას (BLER)- **BLER** (Block Error Rate) - ეს არის მაჩვენებელი, რომელიც გამოიყენება ციფრული საკომუნიკაციო სისტემებში (მაგ. LTE, 5G და სხვა მობილურ ქსელებში), რათა შეფასდეს გადაცემული მონაცემთა ბლოკების სიზუსტე), IRAT (**IRAT** ნიშნავს **Inter-Radio Access Technology** - ანუ სხვადასხვა რადიოწვდომის ტექნოლოგიებს შორის გადართვას მობილურ ქსელში.) მომსახურების გადაცემებს [5].

ქვემოთ მოცემულ სქემებზე დეტალურადაა ასახული ქსელის მართვის რესურსების ეფექტური გამოყენება [4].

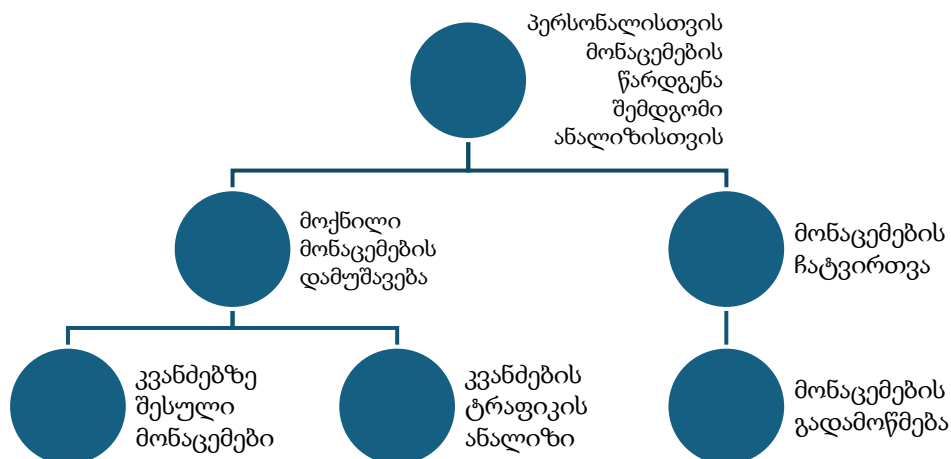


და



შემცირებული ოპერაციული ხარჯების ალგორითმი

შემცირებული ოპერაციული ხარჯების ალგორითმის დათვლამდე და ფაზის დასრულებამდე გაანგარიშების მექანიზმი ქვემოთ მოყვანილი სქემით უნდა წარიმართოს



შემდგომში კი უნდა მოხდეს ფუნქციონირების რეჟიმის შემდგომი პროცესების ალგორითმის გაანგარიშება, რომელიც ორივე მიდგომისთვის ერთიან სურათს მოგვცემს.

3. დასკვნა.

სახით შეიძლება ვთქვათ, რომ ზემოთ მოყვანილი მსჯელობის და შედგენილი სქემების მიხედვით, სატელეკომუნიკაციო ქსელებში მართვის რესურსების ეფექტური გამოყენებისათვის მიღწეულ იქნება ქსელის საიმედოობა, მაღალი ხარისხის მომსახურება (QoS/QoE), რესურსების გამოყენების ოპტიმალური ვარიანტების გათვლა, შემცირებული ოპერაციული ხარჯები, რის შედეგადაც მომსახურების ხარისხი გაიზრდება (QoE, QoS); ქსელის ხარვეზების რაოდენობა შემცირდება; საერთო ხარჯები შემცირდება (OPEX); ქსელი მოქნილი გახდება და შესაძლებელი იქნება მისადაგებული ანალიზის გაკეთება.

გამოყენებული ლიტერატურა:

1. “[Development of complete estimation methods in fractal structures considering reliability parameters](#)” [M Kurdadze, G Murjikneli](#) - Georgian Scientists, 2024/4/15 P.62-68
2. “PROBLEM DETECTION IN NETWORK ROUTER PROTOCOLS AND ALGORITHM OF WAYS TO ELIMINATE IT” M Kurdadze, I Iremadze - Book of Abstracts of XV Annual International Meeting of the Georgian Mechanical Union 2024/9/2 - p170-171
3. “A SERVICE MANAGEMENT PARADIGM WITH COMMON CHARACTERISTICS OF THE NETWORK BACKBONE” M Kurdadze, G Murjikneli, G Murjikneli The 4nd International Conference" Problems of Engineering Sciences. 2024/9/1 P.96-100
4. “მოდულაციის გამოყენების საკითხები თანამედროვე ციფრულ სამაუწყებლო სატელევიზიო სისტემებში” მარინა ქურდაძე, გივი მურჯიკნელი, გიორგი მურჯიკნელი საქართველოს მექანიკოსთა კავშირის XIV ყოველწლიური საერთაშორისო კონფერენცია. 2023/8/30.
5. “სატელეკომუნიკაციო ქსელებში ფიზიკური სტრუქტურის ფუნქციონირებისა და შეფასების ძირითად კრიტერიუმთა ფორმულირება“, მ. ქურდაძე, გ. მურჯიკნელი, გედევან მურჯიკნელი ინოვაციები და თანამედროვე გამოწვევები “ შრომათა კრებული, 2022/11/23, გვ.123-127

Effective Use of Network Management Resources and Reduced Operating Costs Algorithm

Marina Kurdadze, Mamuka Gogadze, Giorgi Murjikneli

Georgian Technical University, Tbilisi, Georgia,

m.kurdadze@gtu.ge, m.gogadze@gtu.ge, gurjikneli@gmail.com

Abstract

The initial configuration of the telecommunications network aims to prepare a common interface, monitor faults and identify problems with the timing parameters of the system's operation. As well as common buffering of messages received from the user (hardware and software errors).

In this dynamic process, constant control issues become relevant and require: solving problems with the installation of switching equipment, grouping and solving issues caused by integration problems, accessibility of the design (structure) and user service experience.

The work outlines and partially evaluates the accuracy of transmitted data blocks, with an acceptable probability, calculated using indicators of coverage, mobility, throughput, delay, detection of system bottlenecks, which is acceptable when switching between different radio access technologies.

Keywords: interface, monitoring, buffering, installation, dynamic process, configuration, azimuth.

მაკორექტირებელი რგოლების გამოყენების მეთოდები ავტომატური რეგულირების სისტემებში

ქეთევან კოტრიკაძე, თინათინ კაიშაური, ნანა კურკუმული

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

k.kotrikadze@gtu.ge, n.kurkumuli@gtu.ge

რეზიუმე

ავტომატური რეგულირების სისტემების შექმნისას, ინჟინრები წინასწარ აწარმოებენ სისტემის სტრუქტურის და მასში შემავალი ელემენტების შერჩევას, ქმნიან სისტემაში შემავალი ელემენტების მათემატიკურ მოდელებს, ატარებენ პარამეტრების გათვლებს - ენერგეტიკულ ანგარიშს და ღებულობენ სისტემის ე. წ. უცვლელ ნაწილს. ენერგეტიკული ანგარიშის შემდგომ, რაიმე ცვლილებების შეტანა, საპროექტო ავტომატური რეგულირების სისტემაში, არასასურველია ან შეუძლებელი.

ამ შემთხვევაში, მარტივი მოწყობილობა, მაკორექტირებელი რგოლი, უზრუნველყოფს სისტემისთვის სასურველ გარდამავალ პროცესს, სისტემის მდგრადობას და სისტემის სასურველ თვისებრიობის მაჩვენებლებს.

ნაშრომში განხილულია ასეთი მაკორექტირებელი მოწყობილობების ჩართვის სქემები, გამოყენების მეთოდები, სხვადასხვა სახის მახასიათებლები და მათი შესაძლებლობები, ავტომატური რეგულირების სისტემებში.

მართვაში შესაძლებელია სხვადასხვა ტიპის მაკორექტირებელი მოწყობილობების გამოყენება, იმის და მიხედვით, თუ რა ტიპის ტექნიკური ამოცანაა გადასაწყვეტი.

საკვანძო სიტყვები: ავტომატური რეგულირების სისტემა, მაკორექტირებელი რგოლები, ფუნქციური სქემა, სისტემის დინამიკა, პარამეტრების სინთეზის ამოცანა

1. შესავალი

ავტომატური რეგულირების სისტემების (არს) დაგეგმარების და ანალიზისას მნიშვნელოვანი ამოცანაა, ისეთი სისტემის შექმნა, რომელიც ზუსტად შეესაბამება მის ფუნქციურ დანიშნულებას, უზრუნველყოფს მდგრადობას, სასურველ გარდამავალ პროცესს და სხვა მოთხოვნილ თვისებრიობის მაჩვენებლებს. ავტომატური რეგულირების სისტემისთვის შესაძლებელია მოთხოვნილ იქნას მაგ: მხოლოდ სისტემის მდგრადობის უზრუნველყოფა ან სისტემის სიზუსტის გაზრდა ან რეაგირების სისწრაფე და სხვა.

ავტომატური რეგულირების სისტემების დაგეგმარებისას, როდესაც ხდება სისტემის პარამეტრების იმგვარად შერჩევა, რომ სისტემა იყოს მდგრადი, მართვის თეორიაში ცნობილია, როგორც პარამეტრების სინთეზის ამოცანა. ანუ მარტივი ენით რომ აღვწეროთ, რა არის სინთეზის ამოცანა? ეს არის ავტომატური რეგულირების სისტემისთვის პარამეტრების იმგვარად შერჩევა, რომ სისტემა გამოვიდეს მდგრადი.

წრფივი სისტემების სინთეზის ამოცანების გადაწყვეტა შესაძლებელია განხორციელდეს სხვადასხვა სახის მეთოდებით. მაგალითად: გრაფო-ანალიზური მეთოდით, რომელიც მოიცავს სისტემის მახასიათებელი განტოლების ფესვების ტრაექტორიების დადგენას; სტანდარტული გარდამავალი პროცესების და სიხშირული მახასიათებლების აგებას.

ანალიზური მეთოდით, როდესაც იყენებენ მაგალითად: ვარიაციული აღრიცხვის, დინამიკური დაპროგრამების, მაქსიმუმის პრინციპის, რეგულატორის ანალიტიკური კონსტრუირების და სხვ. ცნობილ მეთოდებს, რომლებიც მიღებულია მართვაში.

ავტომატური რეგულირების სისტემების დაგეგმარებისას პარამეტრების სინთეზის ამოცანების გადაწყვეტა შესაძლებელია კომპიუტერული მოდელირების საშუალებით.

ავტომატური რეგულირების სისტემისთვის, სინთეზის ამოცანის გადაწყვეტისას, მნიშვნელოვანია გარანტირებული სიზუსტით, გამოსავალი სარეგულირო პარამეტრის და შესავლის, მმართველი ზემოქმედების ზუსტი შესაბამისობის, გარდამავალი პროცესის დროისა და სასურველი გადარეგულირების უზრუნველყოფა.

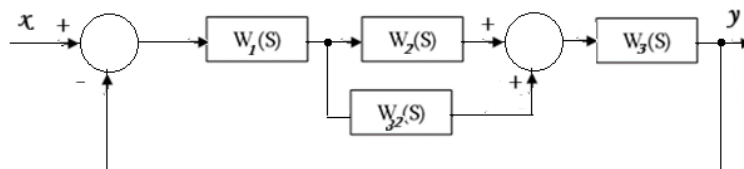
ავტომატური რეგულირების სისტემების დაგეგმარებისას სისტემის მდგრადობის და სასურველი თვისობრიობის მაჩვენებლების უზრუნველსაყოფად, იყენებენ სხვადასხვა სახის მაკორექტირებელ მოწყობილობებს, ჩართვის ადგილს, მეთოდებს და სქემებს ავტომატური რეგულირების სისტემებში. სტატიაში განხილულია მაკორექტირებელი რგოლების ჩართვის მეთოდები ავტომატური რეგულირების სისტემებში.

2. ძირითადი ნაწილი

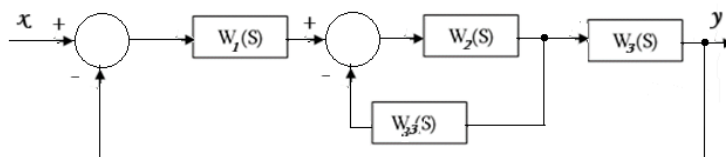
მაკორექტირებელი მოწყობილობების ჩართვის სქემები, ავტომატური რეგულირების სისტემებში, შესაძლებელია იყოს შემდეგი სამი ტიპის: მიმდევრობითი, პარალელური და შერეული. ნახ. 1.-ზე ნაჩვენებია კორექციის მიმდევრობითი ჩართვის სქემა; ნახ. 2-ზე - პარალელური ჩართვის სქემა, ხოლო ნახ. 3-ზე - შემხვედრი-პარალელური ჩართვის სქემა, როდესაც მაკორექტირებელი რგოლი ირთვება ადგილობრივ უკუკავშირში.



ნახ. 1. მაკორექტირებელი რგოლის მიმდევრობითი ჩართვა



ნახ. 2. მაკორექტირებელი რგოლის პარალელური ჩართვა



ნახ. 3. მაკორექტირებელი რგოლის პარალელური ჩართვა ადგილობრივ უკუკავშირში

მაკორექტირებელი მოწყობილობის გარეშე, გახსნილი სისტემისთვის გადაცემის ფუნქცია იქნება:

$$W_0(s) = W_1(s)W_2(s)W_3(s) \quad (1)$$

ხოლო ნახ. 1, 2, 3-ისთვის გადაცემის ფუნქციები, შესაბამისად, იქნება:

$$W(S) = W_1(S)W_2(S)W_3(S)W_{j1}(S), (2) W(S) = W_1(S)[W_2(S)+W_{j2}(S)]W_3(S), (3) W(S) = \frac{W_1(S)W_2(S)W_3(S)}{1+W_2(S)W_{j3}(S)}, (2)$$

სისტემის ტექნიკური მახასიათებლების მიხედვით, შესაძლებელია შეირჩეს ამ სამი კორექციის ტიპიდან ერთ-ერთი.

აღსანიშნავია, რომ კორექტირებული სისტემის გადაცემის ფუნქციის სახე, დამოკიდებულია არა მხოლოდ მაკორექტირებელი რგოლის გადაცემის ფუნქციაზე, არამედ იმაზეც, თუ რა ადგილია შერჩეული მისი ჩართვისთვის.

ნახ. 1,2,3-ზე წარმოდგენილი მაკორექტირებელი მოწყობილობების ჩართვის მეთოდები ცვლიან მოცემული სისტემის გადაცემის ფუნქციას, თუმცა არ ცვლიან მისი მართვის პრინციპებს.

მაკორექტირებელ მოწყობილობად შეიძლება გამოყენებულ იქნას ნებისმიერი მოწყობილობა, რომელიც უზრუნველყოფს საჭირო გადაცემის ფუნქციას. კონკრეტული მოწყობილობისა და კორექციის მეთოდის არჩევა ხშირად განპირობებულია მაკორექტირებელი რგოლის ტექნიკური შესაძლებლობებით.

ყველაზე ხშირად ავტომატური რეგულირების სისტემებში მაკორექტირებელ მოწყობილობებად გამოიყენება პასიური ან აქტიური ოთხპოლუსა ელემენტები. ოთხპოლუსას სქემები ზოგადად, შეიცავენ რეზისტორებს, კონდენსატორებს და იშვიათ შემთხვევებში ინდუქტივობებს. აქტიური ოთხპოლუსების შემთხვევაში კი, ასევე, ოპერაციულ მამლიერებლებს. ასეთი ოთხპოლუსები გამოიყენება ავტომატური რეგულირების სისტემებში, სადაც მართვის სიგნალები წარმოადგენს მუდმივი დენის ძაბვას.

ავტომატური რეგულირების სისტემების, ჭრის სიხშირის გაზრდისთვის, იყენებენ მიმდევრობითი კორექციას, რომელიც ხორციელდება მადიფერენცირებელი რგოლების საშუალებით. მათი გამოყენება შესაძლებელია, როგორც მუდმივი დენის, ასევე ცვლადი დენის სისტემებში.

ცვლადი დენის ავტომატური რეგულირების სისტემას მიეკუთვნება ისეთი რეგულირების სისტემა, რომლის საერთო სქემის რაღაც ნაწილი მაინც, ცვლადი დენის წრეა.

ცვლადი დენის მადიფერენცირებელი მაკორექტირებელი რგოლების გამოყენების სამი შესაძლებლობა არსებობს.

პირველი ტიპის კორექციის შემთხვევაში, ცვლადი დენის სიგნალი ჯერ გარდაიქმნება მუდმივ დენის სიგნალად, სპეციალური მოწყობილობით (ფაზათმგრძნობიარე გამმართველი ან დემოდულატორი), შემდეგ მიეწოდება მაკორექტირებელი რგოლის შესავალს, ხოლო მაკორექტირებელი მოწყობილობის გამოსავალზე მიღებული სიგნალი, ისევ გარდაიქმნება ცვლადი დენის ძაბვად..

მეორე ტიპის კორექციის შემთხვევაში, გამოიყენება გადამტანი სიხშირის მადიფერენცირებელი მაკორექტირებელი რგოლი, რომელიც პირდაპირ ახდენს სიგნალის დიფერენცირებას, დამატებითი გარდაქმნების გარეშე ანუ სიგნალის მოდულაცია და დემოდულაცია, ამ შემთხვევაში, არ ხდება.

მესამე ტიპის კორექცია ხორციელდება ცვლადი დენის ფაზათმგრძნობიარე მაღალ მადიფერენცირებელი მაკორექტირებელი რგოლებით, რომლებიც თავად ახდენენ სიგნალის ფაზით ან ამპლიტუდით მოდულირებას.

განვიხილოთ მიმდევრობითი მაკორექტირებელი მოწყობილობების გამოყენების შესაძლებლობები. მიმდევრობითი მაკორექტირებელი მოწყობილობა ირთვება მართვის სისტემის ფუნქციურ სქემაში მიმდევრობით (ნახ. 1).

მიმდევრობითი კორექციისას გახნილი კონტურის, კორექტირებული სისტემის გადაცემის ფუნქციაა:

$$W(S) = W_0(S)W_{31}(S) \quad (3)$$

$W_{31}(S)$ -ის გადაცემის ფუნქციის შერჩევით, შესაძლებელია სასურველი გადაცემის ფუნქციის $W(S)$ მიღწევა, რაც უზრუნველყოფს სისტემის სასურველ თვისებებს. მიმდევრობითი კორექცია ხშირად გამოიყენება სისტემის განსაზღვრული სიზუსტის მისაღწევად.

ამ შემთხვევაში, მაკორექტირებელი მოწყობილობის გადაცემის ფუნქციაა: $W_{31}(S) = \frac{K_1}{S^X}$, ანუ სისტემის მიმდევრობით ირთვება მაძლიერებელი ბლოკი, K_1 გაძლიერების კოეფიციენტი და მიატეგრებელი რგოლი გადაცემის ფუნქციით $\frac{1}{S^X}$. გადაცემის ფუნქცია ამ შემთხვევაში, შემდეგი სახისაა:

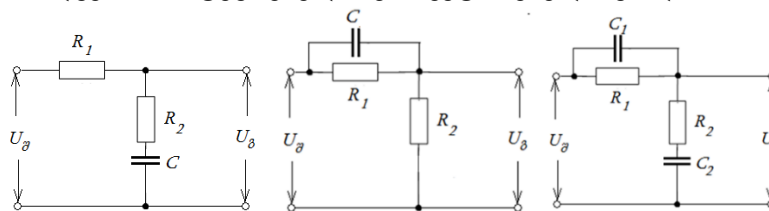
$$W(S) = \frac{K_1 W_0(S)}{S^X} \quad (4)$$

K_1 და X მნიშვნელობების შერჩევა ხდება სისტემის სიზუსტისადმი მოთხოვნების შესაბამისად, დამყარებულ რეჟიმში.

გარდა სიზუსტის გაუმჯობესებისა, მიმდევრობითი მაკორექტირებელი მოწყობილობები, შეიძლება გამოყენებულ იქნას, სისტემის ხარისხობრივი მაჩვენებლების გასაუმჯობესებლად. ამ შემთხვევაში, გამოსახულება (1) შესაბამისად, $W_{31}(S)$ -ს ცვლილებით, ცვლიან საწყისი სიხშირული მახასიათებლის $W_0(j\omega)$ საშუალო სიხშირულ ნაწილს, რაც უზრუნველყოფს სასურველ სიხშირულ მახასიათებელს $W(j\omega)$.

მიმდევრობითი მაკორექტირებელი მოწყობილობები, როგორც პასიური, ასევე, აქტიური ოთხპოლუსა ელემენტები, როგორც წესი, ირთვება შემადარებელი მოწყობილობის შემდეგ ან წინასწარი მაძლიერებლის კასკადებს შორის.

მიმდევრობითი მაკორექტირებელი რგოლის სქემა მოცემულია ნახ. 4-ზე, სადაც მაკორექტირებელი წრედის წინააღობებია - R_1 და R_2 , ტევადობაა - C , ხოლო U_{θ} და U_{δ} , შესაბამისად მაკორექტირებელი მოწყობილობის შესავალი და გამოსავალი ძაბვებია. ნახ. 4-ზე ნაჩვენებია სქემა წარმოადგენს მაინტეგრებელ მაკორექტირებელ რგოლს.



ნახ. 4.

ნახ. 5.

ნახ. 6.

მაკორექტირებელი მოწყობილობების სქემები

მოცემული რგოლისთვის გადაცემის ფუნქციაა: $W_{31}(S) = \frac{(1+\alpha j\omega T)}{(1+j\omega T)}$; $T_1 = (R_1 + R_2)C$; $\alpha = \frac{R_2}{R_1 + R_2}$; $\omega_1 = \frac{1}{T}$; $\omega_2 = \frac{1}{\alpha T}$. ასეთი ტიპის კორექტირება ზრდის სისტემის მდგრადობას, ახშობს მაღალი სიხშირის ხელშეშლებს, მაგრამ ამცირებს სწრაფქმედებას.

თუ საჭიროა სისტემის სწარაფქმედების გაზრდა, მაშინ იყენებენ სხვა ტიპის მაკორექტირებელ რგოლს (ნახ. 5). მოცემულ შემთხვევაში მაკორექტირებელი რგოლის გადაცემის ფუნქცია და მასში შემავალი პარამეტრები, შემდეგი სახითაა წარმოდგენილი; $W_{31}(S) = \frac{(1+\alpha j\omega T)}{(1+j\omega T)}$; $T_1 = R_1 C$; $\alpha = \frac{R_2}{R_1+R_2}$; $\omega_1 = \frac{1}{T}$; $\omega_2 = \frac{1}{\alpha T}$. ასეთი მაკორექტირებელი რგოლის ზრდის სისტემის მდგრადობას და სწრაფქმედებას, თუმცა, მაღალ სიხშირეებზე იწვევს ხელშეშლების მიმართ მდგრადობის შემცირებას.

თუ გავავრთიანებთ სქემებს (ნახ. 4, 5), მივიღებთ მაინტეგრებელ მადიფერენცირებელ რგოლს (ნახ. 6). მისი გადაცემის ფუნქციაა: $W_{31}(S) = \frac{(1+\alpha j\omega T_1)(1+\alpha j\omega T_2)}{(1+j\omega T_3)(1+j\omega T_4)}$; $T_1 = R_1 C_1$; $T_2 = R_2 C_2$; $T_1 > T_2 > T_3 > T_4$; $T_2 T_1 = T_4 T_3$; $T_4 + T_3 = T_1 + T_2 \frac{R_1+R_2}{R_2}$.

მოცემულ სქემა მაინტეგრებელ მადიფერენცირებელი მაკორექტირებელი რგოლია. ასეთი რგოლის გამოყენების შემთხვევაში, ზემოთ ჩამოთვლილი უარყოფითი თვისებები თითქმის სრულად აღმოიფხვრება და ზრდის ავტომატური რეგულირების სისტემის ხარისხის მაჩვენებლებს.

განვიხილოთ ავტომატური რეგულირების სისტემებში პარალელური კორექციის მოწყობილობები. ნახ. 2-ზე ნაჩვენები ფუნქციური სქემის შემთხვევაში: $W_2(S) = K_2$; $W_{32}(S) =$

$= TS$. მაშინ კორექტირებული ფუნქციური სქემის გადაცემის ფუნქცია, მოცემულ შემთხვევაში იქნება: $W(S) = W_1(S)W_3(S)K_2(1+T'S) = W_0(S)(1+T'S)$ (6), სადაც $T' = \frac{T}{K_2}$. მაკორექტირებელი მოწყობილობა ცვლის სისტემის ამპლიტუდასა და ფაზურ მახასიათებლებს, რომლებიც იღებენ ფორმას: $A(\omega) = A_0(\omega)\sqrt{1+T'^2\omega^2}$, (7) $\Phi(\omega) = \Phi_0(\omega) + \arctg T'\omega$, (8) $A_0(\omega) = |W_0(j\omega)|$, $\Phi(\omega) = \arg W_0(j\omega)$

(7, 8)-დან ჩანს, რომ წარმოებულის შემოღება ზრდის დადებით ფაზურ წანაცვლებებს და T' საშუალებით, იძლევა ფაზური მახასიათებლის ზემოთ გადაადგილების საშუალებას და ზრდის მდგრადობის ზღვარს. დაბალ სიხშირეებზე, საწყისი და კორექტირებული სისტემების სიხშირული მახასიათებლები უცვლელი რჩება. ეს კორექცია ხშირად გამოიყენება სისტემების სტაბილიზაციის ან დემპფერირებისთვის.

მხოლოდ მადიფერენცირებელი რგოლის $W_{32}(S) = TS$ დამატება ავტომატური რეგულირების სისტემაში, საკმაოდ რთულია, ამიტომ შემოაქვთ რგოლი, რომესაც გააჩნია გარკვეული ინერციულობა და მისი გადაცემის ფუნქციაა: $W_{32}(S) = \frac{TS}{T_1 S + 1}$. აღნიშნული ხერხი ამცირებს დემპფერირების მაჩვენებლებს.

პარალელური კორექციის მოწყობილობის კიდევ ერთი ტიპი, რომელიც ფართოდ გამოიყენება, არის ავტომატური რეგულირების სისტემაში მიმდევრობით შეერთების ინტეგრირების და დიფერენცირების მდგენელების შემოტანა.

დავუშვათ, $W_2(S) = K_2$ $W_{32}(S) = \frac{1}{T'S}$, მაშინ მიმდევრობითი შეერთების გადაცემის ფუნქცია იქნება: $W(S) = W_0(S) \frac{1+T'S}{T'S}$. ხოლო მისი სიხშირული მახასიათებლები ნაცვლად, (7, 8) ფორმულების მსგავსად იქნება: $A(\omega) = A_0(\omega) \frac{\sqrt{1+T'^2\omega^2}}{T'\omega}$, (9) $\Phi(\omega) = \Phi_0(\omega) - 90^\circ + \arctg T'\omega$, (10) $T' \omega = K_2 T$.

ამ შემთხვევაში, სისტემის სიზუსტე იზრდება. გარდა ამისა, T' -ის მნიშვნელობის შერჩევით, როგორც ეს (9, 10)-დან ჩანს, უარყოფითი ფაზური დაძვრა შესაძლებელია დიდ წილად კომპენსირებული იყოს დადებითი ფაზური დაძვრით $\arctg T'\omega$, ჭრის სიხშირეზე, რაც უზრუნველყოფს სისტემის მდგრადობას.

შერეული კორექციის მოწყობილობების ჩართვა ავტომატური რეგულირების სისტემებში ხდება ე. წ. ადგილობრივი უკუკავშირში (ნახ. 3). უკუკავშირი ყველაზე ხშირად მოიცავს მართვის სისტემის ძალურ მონაკვეთს, რომელიც, თავის მხრივ, შედგება შემსრულებელი ძრავისა და სიმძლავრის მამლიერებლებისგან.

განვიხილოთ ასეთი კორექციის მოწყობილობების ზოგადი თვისებები. ნახ. 3-ისთვის, გადაცემის ფუნქციაა: $W_2'(j\omega) = \frac{W_2(j\omega)}{1+W_2(j\omega)W_{33}(j\omega)}$. როგორც წესი, სისტემის სამუშაო სიხშირის დიაპაზონში, დაბალი სიხშირის დიაპაზონში, სრულდება პირობა $|W_2(j\omega)W_{33}(j\omega)| \gg 1$ და სიხშირული მახასიათებელია: $W_2'(j\omega) \cong \frac{1}{W_{33}(j\omega)}$. ამ შემთხვევაში, ადგილობრივი უკუკავშირის მონაკვეთის სიხშირული მახასიათებელი განისაზღვრება მხოლოდ მაკორექტირებელი რგოლის სიხშირული მახასიათებლით და არ არის დამოკიდებული $W_2(S)$ -ზე.

$W_{33}(S)$ გადაცემის ფუნქციის ტიპის მიხედვით, მაკორექტირებელი რგოლის უკუკავშირში ჩართვის შემთხვევაში, უკუკავშირი შეიძლება იყოს ხისტი ან მოქნილი. თუ $W_{33}(S)$ სტატიკურია ($W_{33}(0) \neq 0$), მაშინ ვღებულობთ ხისტ უკუკავშირს. თუ $W_{33}(S)$ რგოლი დიფერენცირების რგოლია ($W_{33}(0) = 0$), მაშინ გვაქვს მოქნილი უკუკავშირი. ხისტი უკუკავშირი მოქმედებს როგორც გარდამავალ, ასევე დამყარებულ რეჟიმშიც, ხოლო მოქნილი უკუკავშირი მოქმედებს მხოლოდ გარდამავალ რეჟიმში.

განვიხილოთ უკუკავშირის გამოყენებით კორექციის კონკრეტული მაგალითი. დავუშვათ, გვაქვს შემდეგი სახის გადაცემის ფუნქცია $W_2(S) = \frac{K_2}{1+TS}$, $W_{33}(S) = K_3$, მაშინ უარყოფითი უკუკავშირის გადაცემის ფუნქცია იქნება: $W_2'(S) = \frac{K_2}{1+TS+K_3K_2} = \frac{K_2'}{1+T'S}$; $K_2' = \frac{K_2}{1+K_3K_2}$; $T' = \frac{T}{K_3K_2}$.

ამრიგად, უკუკავშირის სტრუქტურა არ შეცვლილა; ის აპერიოდული დარჩა, მაგრამ გადაცემის კოეფიციენტი და ექვივალენტური დროის მუდმივა T' შემცირდა. აქედან გამომდინარეობს, რომ მიმდევრობით შეერთებაში ინერციული რგოლი ამცირებს მთელი სისტემის ინერციას, რაც დადებითად მოქმედებს სისტემის მუშაობაზე, მის სწრაფქმედებაზე და მდგრადობაზე. გადაცემის კოეფიციენტის შემცირების კომპენსირება, კი შესაძლებელია დამატებითი მამლიერებელი მოწყობილობის დამატებით.

3. დასკვნა

მაკორექტირებელი მოწყობილობების ჩართვის პრინციპები ავტომატური რეგულირების სისტემებისთვის სხვადასხვა მეთოდებით არის შესაძლებელი. აღნიშნული მეთოდების ცოდნა მნიშვნელოვანია ავტომატური რეგულირების სისტემების დაგეგმარებისას და მათი ზუსტად შერჩევა უზრუნველყოფს სისტემის მდგრადობას, სასურველ გარდამავალ პროცესს და თვისებრიობის მაჩვენებლებს.

გამოყენებული ლიტერატურა:

1. Richard C. Dorf, R. H. Modern Control Systems. USA: Pearson Education Inc. 2016;
2. Nise, Norman S. Control systems engineering California State Polytechnic University, Pomona. Seventh edition, Wiley, 2015;
3. S. M. Tripathi Modern Control Systems: An Introduction (Engineering Series) Publisher: Jones & Bartlett Learning, May 12, 2008).

Methods of using corrective devices in automatic regulation systems

Ketevan Kotrikadze, Tinatin Kaishauri, Nana Kurkumuli

Georgian Technical University

k.kotrikadze@gtu.ge, n.kurkumuli@gtu.ge

Abstract

When creating automatic regulation systems, engineers pre-develop the system structure, select elements, create mathematical models of the elements, conduct calculations - energy calculations, and obtain so-called unchanging part of the system.

After the energy analysis, it is undesirable or impossible to make any changes to the automatic control system design, as this would involve a significant amount of work.

In this case, a simple device - corrective device - provides the desired transient response for the system, system stability and the desired performance indicators.

This article examines corrective devices, their application methods, types of characteristics, and their capabilities in automatic regulation systems.

Depending on the type of technical problem, in automatic regulation systems, it is possible to use different types of corrective devices.

Keywords: automatic control system, correction loops, functional diagram, system dynamics, parameter synthesis task

ქაოსის ინჟინერიის გამოყენება მიკროსერვისული არქიტექტურის მდგრადობის გასაძლიერებლად: „Online Boutique“-ის ქეისის ანალიზი

გიორგი კუჭავა, იოსებ ქართველიშვილი, შალვა ვაშალომიძე

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

kuchavagiorgi08@gtu.ge, s.kartvelishvili@gtu.ge, vashalomidze.shalva24@gtu.ge

რეზიუმე

თანამედროვე ღრუბლოვანი მიკროსერვისული არქიტექტურები, მიუხედავად მათი მოქნილობისა და მასშტაბირებადობისა, ხშირად აწყდება რთულ გამოწვევებს, როგორიცაა ფარული ხარვეზები, კასკადური მარცხი და სისტემის არაპროგნოზირებადი ქცევა. ეს სტატია იკვლევს ქაოსის ინჟინერიის, როგორც DevOps-ის პროაქტიული მეთოდის, გამოყენებას Google-ის „Online Boutique“ აპლიკაციის მაგალითზე, რომელიც განლაგებულია Google Kubernetes Engine-ზე (GKE). Chaos Mesh-ის გამოყენებით ჩატარებულმა ექსპერიმენტებმა (CPU Hog, Memory Hog, Network Latency, Packet Loss) გამოავლინა კრიტიკული სისუსტეები, მათ შორის „ჩუმი მარცხი“, მეხსიერების ამოწურვა (OOMKilled) და არაადეკვატური timeout/retry მექანიზმები. Prometheus-ისა და Grafana-ს მეშვეობით გაზომილი KPI-ებით (პასუხის დრო, შეცდომების სიხშირე, CPU/მეხსიერების მოხმარება) და Locust-ის მიერ სიმულირებული მომხმარებლის ტრაფიკით, განხორციელდა სისტემის ოპტიმიზაცია. ეს მოიცავდა Horizontal Pod Autoscaler-ის (HPA) დანერგვას, რესურსების ლიმიტების კორექტირებასა და timeout/retry მექანიზმების გაძლიერებას.

განმეორებითმა ექსპერიმენტებმა აჩვენა სისტემის მდგრადობის სტატისტიკურად მნიშვნელოვანი გაუმჯობესება, რაც ხაზს უსვამს ქაოსის ინჟინერიის, როგორც DevOps-ის განუყოფელი ნაწილის, მნიშვნელობას. სტატია გვთავაზობს პრაქტიკულ რეკომენდაციებს სისტემის სანდოობის გაძლიერებისა და SDLC-ში ქაოსის ინჟინერიის ინტეგრირებისთვის.

საკვანძო სიტყვები: ქაოსის ინჟინერია, მიკროსერვისები, Kubernetes, DevOps, Prometheus, Grafana.

1. შესავალი.

მიკროსერვისული არქიტექტურების ზრდამ, განსაკუთრებით ღრუბლოვან გარემოში, როგორიცაა Kubernetes, მნიშვნელოვნად გაზარდა პროგრამული სისტემების მოქნილობა და მასშტაბირებადობა. თუმცა, მათი განაწილებული ბუნება, რთული დამოკიდებულებები და ჰეტეროგენული ტექნოლოგიური სტეკი (მაგ., Go, C#, Python) ქმნის გამოწვევებს, როგორიცაა მოულოდნელი ხარვეზები, კასკადური მარცხი და „ჩუმი მარცხის“ ფენომენი, რომელიც ტრადიციული მონიტორინგის მეთოდებით ძნელად გამოვლენადია. ქაოსის ინჟინერია, რომელიც თავდაპირველად Netflix-ის მიერ განვითარდა, გვთავაზობს პროაქტიულ მიდგომას, სადაც განზრახ გამოწვეული ხარვეზები (მაგ., CPU-ს გადატვირთვა, ქსელის დაგვიანება) საშუალებას იძლევა გამოვლინდეს სისტემის სუსტი წერტილები, რაც DevOps გუნდებს ეხმარება სისტემის სანდოობის გაძლიერებაში. სტატია იკვლევს ქაოსის ინჟინერიის გამოყენებას Google-ის „Online Boutique“ აპლიკაციაზე, Kubernetes-ის გარემოში. „Online Boutique“ არის ღია კოდის, მრავალკომპონენტური ელექტრონული კომერციის პლატფორმა, რომელიც შეიცავს 11 მიკროსერვისს, მათ შორის frontend, productcatalogservice, cartservice და recommendationservice. კვლევის მიზნებია:

- სისტემის ფარული სისუსტეების გამოვლენა Chaos Mesh-ის გამოყენებით.
- მიზნობრივი ოპტიმიზაციების განხორციელება, მათ შორის HPA-სა და timeout-ების გაუმჯობესება.
- პრაქტიკული რეკომენდაციების შეთავაზება DevOps გუნდებისთვის.
- სტატია იყენებს ემპირიულ მონაცემებს Prometheus-ის, Grafana-სა და Locust-ის მეშვეობით, რათა აჩვენოს, თუ როგორ აძლიერებს ქაოსის ინჟინერია სისტემის მდგრადობას და ხელს უწყობს SDLC-ის გაუმჯობესებას.

2. მეთოდოლოგია.

კვლევა ჩატარდა Google Kubernetes Engine-ზე (GKE), „Online Boutique“ აპლიკაციის გამოყენებით, რომელიც წარმოადგენს ღია კოდის, მრავალკომპონენტური ელექტრონული კომერციის პლატფორმას. აპლიკაციის ჰეტეროგენული ტექნოლოგიური სტეკი (Go, C#, Python, Node.js, Java) და რთული დამოკიდებულებები (gRPC, HTTP) მას იდეალურ ობიექტად აქცევს ქაოსის ინჟინერიისთვის. მეთოდოლოგიური ჩარჩო მოიცავდა ოთხ ფაზას: საბაზისო ანალიზი: სისტემის საწყისი მდგომარეობის გაზომვა Prometheus-ისა და Grafana-ს გამოყენებით.

KPI-ები: პასუხის დრო (Latency), შეცდომების სიხშირე (Error Rate), CPU/მეხსიერების მოხმარება.

Locust-ით სიმულირებული იყო მომხმარებლის ტრაფიკი (500 მომხმარებელი, 10 RPS).

ქაოსის ექსპერიმენტები:

Chaos Mesh-ის გამოყენებით ჩატარდა ოთხი ტიპის ექსპერიმენტი: CPU Hog: frontend-ზე CPU-ს 80%-იანი გადატვირთვა 5 წუთის განმავლობაში.

Memory Hog: მეხსიერების ხელოვნური სტრესი (500MB), რამაც გამოიწვია OOMKilled frontend-ში.

Network Latency: 500ms-იანი დაგვიანება recommendationservice-ის მოთხოვნებზე.

Packet Loss: 10%-იანი პაკეტის დაკარგვა cartservice-ისთვის.

თითოეული ექსპერიმენტი გაგრძელდა 10 წუთი, 3 გამეორებით სტატისტიკური სიზუსტისთვის.

ოპტიმიზაცია:

HPA-ს დანერგვა: Autoscaling CPU-ს 70%-იან ზღვარზე, მინიმუმ 2 პოდი, მაქსიმუმ 5.

რესურსების კორექტირება: frontend-ის მეხსიერების ლიმიტი გაიზარდა 1GB-მდე.

Timeout/Retry მექანიზმები: recommendationservice-ის timeout გაიზარდა 1 წმ-მდე, დაემატა 3 retry მცდელობა.

ვალიდაცია:

განმეორებითი ექსპერიმენტები ოპტიმიზირებულ სისტემაზე KPI-ების ცვლილებების შესაფასებლად.

მონაცემთა ანალიზი ეფუძნებოდა რაოდენობრივ (KPI-ების ცვლილებები) და თვისებრივ (სისტემის ქცევის კონტექსტუალური შეფასება) მიდგომებს. Istio გამოყენებული იყო ქსელის მონიტორინგისთვის, ხოლო Locust-მა უზრუნველყო სტაბილური დატვირთვა.

3. მსჯელობა.

კვლევის შედეგებმა გამოავლინა, რომ „Online Boutique“-ის არაოპტიმიზირებული ვერსია მოწყვლადი იყო სხვადასხვა ტიპის ხარვეზების მიმართ. „ჩუმი მარცხის“ ფენომენი,

განსაკუთრებით Memory Hog ექსპერიმენტში, აჩვენა, რომ frontend მაღავდა შეცდომებს ქეშირებული ან არასრული ინფორმაციის მიწოდებით, რაც სტანდარტული მონიტორინგის მეტრიკებით (მაგ., Error Rate) არ ჩანდა. ეს ხაზს უსვამს მაღალი დონის SLI-ების (Service Level Indicators) მნიშვნელობას, რომლებიც ზომავს, მაგ., timeout-ების სიხშირეს ან retry მცდელობებს..NET-ის Garbage Collector-ის გავლენა cartservice-ზე Memory Hog ექსპერიმენტებში გამოავლინა, რომ ტექნოლოგიური სტეკის სპეციფიკა გადამწყვეტია ქაოსის ექსპერიმენტების დაგეგმვისას. Garbage Collector-მა გაანეიტრალა მეხსიერების სტრესი, რაც მიუთითებს, რომ ხარვეზის ტიპი უნდა იყოს მორგებული აპლიკაციის შიდა მექანიზმებზე. HPA-ს შეზღუდვები ნაჩვენებია იყო CPU Hog ექსპერიმენტში, სადაც არაადეკვატური სკალირებამ გამოიწვია პასუხის დროის მკვეთრი ზრდა (200ms-მდე). HPA-ს დანერგვისა და რესურსების კორექტირების შემდეგ, სისტემამ აჩვენა სტაბილური ქვევა (~60ms) სტრესის ქვეშ. Network Latency ექსპერიმენტმა გამოავლინა recommendationservice-ის timeout-ების ნაკლოვანებები, რამაც გამოიწვია მომხმარებლის გამოცდილების (UX) დეგრადაცია. Retry მექანიზმების დამატებამ ეს პრობლემა მნიშვნელოვნად შეამსუბუქა.

დამოკიდებულებების განსხვავებული მდგრადობა გამოვლინდა Packet Loss ექსპერიმენტში. კრიტიკული სერვისის (productcatalogservice) ხარვეზმა გამოიწვია მყისიერი დეგრადაცია, ხოლო არაკრიტიკული recommendationservice-ის ხარვეზმა გაააქტიურა Circuit Breaker შაბლონი, რაც სისტემის თვითდაცვის მექანიზმის ნიშანია. ეს აჩვენებს, რომ ქაოსის ინჟინერია არა მხოლოდ სისუსტეებს, არამედ სისტემის ძლიერ მხარეებსაც ავლენს. შეზღუდვები: კვლევა შემოიფარგლა ერთი აპლიკაციით („Online Boutique“) და GKE გარემოთი, რაც ზღუდავს შედეგების განზოგადებას. მონაცემთა შრის (მაგ., Redis, SQL) ან გარე სერვისების (მაგ., API-ების) ხარვეზები არ განხილულა. სამომავლო კვლევებმა უნდა შეისწავლოს: მონაცემთა შრის ხარვეზები: მონაცემთა ბაზის მიუწვდომლობის გავლენა. უსაფრთხოების ქაოსის ინჟინერია: RBAC ან DDoS სცენარების ტესტირება. Service Mesh: Istio-ს მდგრადობის პოლიტიკების ანალიზი.

4. შედეგები:

საბაზისო ანალიზი:

პასუხის დრო: ~50ms frontend-ისთვის (500 მომხმარებელი, 10 RPS).

შეცდომების სიხშირე: <0.1%.

CPU/მეხსიერება: ნაგულისხმევი ლიმიტების ფარგლებში (500MB frontend-ისთვის).

ქაოსის ექსპერიმენტები:

CPU Hog:

CPU-ს 80%-იანი გადატვირთვა გამოიწვია პასუხის დროის ზრდა 200ms-მდე.

გამოვლინდა HPA-ს არარსებობის გამო სკალირების ნაკლებობა.

Memory Hog:

500MB მეხსიერების სტრესმა გამოიწვია OOMKilled frontend-ში.

„ჩუმი მარცხი“: სისტემამ მიაწოდა ქეშირებული, არასრული ინფორმაცია.

Network Latency:

500ms-იანი დაგვიანება recommendationservice-ზე გამოიწვია UX-ის დეგრადაცია.

Timeout-ების ნაკლებობამ გააუარესა შეცდომების მართვა.

Packet Loss:

10%-იანმა პაკეტის დაკარგვამ გამოიწვია cartservice-ის კასკადური ხარვეზები.

Circuit Breaker-მა დაიცვა სისტემა არაკრიტიკული სერვისებისთვის.

ოპტიმიზაციის შედეგები:

HPA-ს დანერგვა: პასუხის დრო სტაბილიზირდა ~60ms-ზე სტრესის ქვეშ, CPU-ს 70%-იან ზღვარზე autoscaling-ით.

რესურსების კორექტირება: frontend-ის მეხსიერების ლიმიტის გაზრდამ (1GB) აღმოფხვრა OOMKilled.

Timeout/Retry გაუმჯობესება: recommendationservice-ის timeout-ის (1 წმ) და retry-ის (3 მცდელობა) დამატებამ გაზარდა სისტემის სტაბილურობა.

შეცდომების მეტრიკები: ოპტიმიზაციის შემდეგ Error Rate გახდა უფრო ადეკვატური, რაც ასახავდა სისტემის რეალურ მდგომარეობას.

5. დასკვნა.

ქაოსის ინჟინერიის გამოყენებამ „Online Boutique“-ის მაგალითზე ნათლად აჩვენა, რომ ეს მეთოდი ეფექტურად ავლენს ფარულ სისუსტეებს, რომლებიც ტრადიციული მონიტორინგით შეუმჩნეველი რჩება. გამოვლენილი პრობლემები, როგორცაა „ჩუმი მარცხი“, HPA-ს შეზღუდვები და timeout-ების ნაკლებობა, მიზნობრივი ოპტიმიზაციებით (HPA, რესურსების კორექტირება, timeout/retry) გამოსწორდა, რამაც გამოიწვია სისტემის მდგრადობის სტატისტიკურად მნიშვნელოვანი გაუმჯობესება.

პრაქტიკული რეკომენდაციები:

ქაოსის ინჟინერიის ინტეგრირება SDLC-ში: რეგულარული ექსპერიმენტები სატესტო და წარმოების გარემოში.

რესურსების მართვა: ემპირიულად განსაზღვრული requests/limit პარამეტრები Kubernetes-ში.

SLI-ების გადამხედვა: Timeout-ების, retry-ებისა და Circuit Breaker-ის მონიტორინგი.

ტექნოლოგიური სტეკის გათვალისწინება: ხარვეზის ტიპის მორგება აპლიკაციის შიდა მექანიზმებზე (მაგ., .NET Garbage Collector).

სამომავლო კვლევა:

მონაცემთა შრის (Redis, SQL) ხარვეზების ანალიზი.

უსაფრთხოების ქაოსის ინჟინერია (მაგ., DDoS, RBAC).

Service Mesh-ის (Istio) მდგრადობის პოლიტიკების შესწავლა.

ქაოსის ინჟინერია ადასტურებს თავის ღირებულებას, როგორც DevOps-ის განუყოფელი ნაწილი, და ხელს უწყობს უფრო სანდო და პროგნოზირებადი ღრუბლოვანი სისტემების შექმნას.

გამოყენებული ლიტერატურა:

1. დემჩენკო ნ. (2025). DevOps-ის ეფექტიანობის ოპტიმიზაცია ქაოსური ინჟინერიის გამოყენებით, ბიზნესისა და ტექნოლოგიების უნივერსიტეტი. 80 გვ.
2. Basiri, A., Behnam, N., de Rooij, R., Hochstein, L., Kosewski, L., Reynolds, J., & Rosenthal, C. (2016). Chaos Engineering: Building Confidence in System Behavior through Controlled Experiments. Netflix Technology Blog.
3. Rosenthal, C., & Jones, N. (2020). Chaos Engineering: System Resiliency in Practice. O'Reilly Media. 267 p.
4. Zhang, X., Liu, Y., & Wang, J. (2022). Performance Optimization in Kubernetes-Based Microservices. Journal of Cloud Computing, 11(3), 45–56p.

The Use of Chaos Engineering to Enhance the Resilience of Microservice Architectures: A Case Study of "Online Boutique"

Giorgi Kuchava, Ioseb Kartvelishvili, Shalva Vashalomidze

Georgian Technical University

kuchavagiorgi08@gtu.ge, s.kartvelishvili@gtu.ge, vashalomidze.shalva24@gtu.ge

Abstract

Modern cloud-native microservice architectures, despite their flexibility and scalability, often face complex challenges such as latent failures, cascading errors, and unpredictable system behavior. This article explores the application of chaos engineering, a proactive DevOps method, using the example of Google's "Online Boutique" application deployed on Google Kubernetes Engine (GKE). Experiments conducted with Chaos Mesh (CPU Hog, Memory Hog, Network Latency, Packet Loss) revealed critical vulnerabilities, including "silent failures," memory exhaustion (OOMKilled), and inadequate timeout/retry mechanisms. Using KPIs measured through Prometheus and Grafana (response time, error rate, CPU/memory usage) and simulated user traffic via Locust, system optimization was achieved. This included implementing the Horizontal Pod Autoscaler (HPA), adjusting resource limits, and enhancing timeout/retry mechanisms. Repeated experiments demonstrated statistically significant improvements in system resilience, underscoring the importance of chaos engineering as an integral part of DevOps. The article provides practical recommendations for enhancing system reliability and integrating chaos engineering into the SDLC.

Keywords: Chaos Engineering, Microservices, Kubernetes, DevOps, Prometheus, Grafana.

Integration Fuzzy Logic Methods in Machine Learning

Dali Magrakvelidze, Mariam Chkhaidze

Georgian Technical University

d.magrakvelidze@gtu.ge, m.chkhaidze@gtu.ge

Abstract

The rapid advancements in machine learning (ML) have enabled powerful data-driven models to achieve remarkable performance in diverse application areas. However, most machine learning models operate as "black boxes" and struggle with uncertainty, imprecision, and interpretability challenges. Fuzzy logic, with its capability to model vague concepts and approximate reasoning, offers a promising complementary approach to enhance ML systems. This paper explores the integration of fuzzy logic methods with machine learning, highlighting hybrid approaches such as neuro-fuzzy systems, fuzzy decision trees, and fuzzy clustering. We present a proposed methodology combining fuzzy rule-based systems with supervised ML algorithms to improve model transparency and robustness. Experimental evaluation demonstrates that integrating fuzzy logic enhances interpretability while maintaining competitive accuracy. The study concludes that fuzzy-augmented ML frameworks can provide more human-centric and explainable artificial intelligence solutions.

Index Terms: Fuzzy logic, machine learning, fuzzy decision trees, fuzzy rule-based systems, hybrid model training.

1. Introduction.

Machine learning has become a cornerstone of modern artificial intelligence (AI), enabling automated prediction, classification, and decision-making across industries. Despite their success, conventional ML models often face two fundamental challenges: (1) handling uncertainty and vague information in real-world datasets, and (2) providing interpretability for human users.

Uncertainty in data arises from multiple sources: measurement errors in sensors, incomplete records in databases, noisy signals in communication, or even the inherent vagueness of human knowledge. Traditional ML models, such as support vector machines or deep neural networks, treat data as crisp and exact, which can lead to fragile decision boundaries.

Interpretability presents another major challenge. While decision trees or linear regression offer some degree of transparency, many modern ML systems—especially deep learning architectures—are widely regarded as “black boxes.” Their predictions, though accurate, are difficult for humans to understand or justify. In high-stakes domains such as healthcare, finance, and law, stakeholders demand not only accurate decisions but also **explainable reasoning** behind them. Without this, trust in AI remains limited.

Fuzzy logic, introduced by Lotfi Zadeh in 1965, addresses these challenges by representing uncertainty through linguistic variables and approximate reasoning. Unlike binary logic, fuzzy logic allows degrees of truth, enabling flexible reasoning that closely resembles human thinking.

The academic community has explored this integration through multiple approaches. **Neuro-fuzzy systems** (e.g., ANFIS) combine the learning power of neural networks with fuzzy inference. **Fuzzy clustering** (e.g., Fuzzy C-Means) extends classical clustering by allowing overlapping groups. **Fuzzy decision trees** soften crisp decision boundaries to better handle noisy data. More recently, researchers

have applied fuzzy reasoning to deep learning, explainable AI (XAI), and reinforcement learning, indicating that the integration is both relevant and evolving.

This research focuses on integrating fuzzy logic methods with machine learning to create hybrid intelligent systems. Such systems aim to combine the predictive strength of ML with the interpretability and uncertainty-handling capabilities of fuzzy systems.

2. Related Work.

The integration of fuzzy logic into ML is not new; early work dates back to the 1990s with the emergence of neuro-fuzzy models. Over time, multiple integration approaches have been explored:

- **Neuro-Fuzzy Systems (ANFIS, 1993):** Jang introduced the Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System, which uses neural networks to tune fuzzy membership functions. ANFIS remains one of the most widely cited neuro-fuzzy architectures.
- **Fuzzy Clustering (Bezdek, 1981):** The Fuzzy C-Means (FCM) algorithm provided a soft clustering approach, enabling each data point to belong to multiple clusters with varying degrees.
- **Fuzzy Decision Trees (1990s):** Researchers modified traditional decision trees by replacing crisp thresholds with fuzzy sets, increasing interpretability and robustness to noisy data.
- **Fuzzy Ensemble Learning (2000s onward):** Ensemble methods like bagging and boosting incorporated fuzzy weights, allowing classifiers to adapt to uncertain and imprecise inputs.
- **Recent Developments (2010s–2020s):** Integration of fuzzy methods with deep learning (Fuzzy Deep Neural Networks) and reinforcement learning (Fuzzy-Q learning) has gained interest, though scalability challenges persist.

3. Proposed Method.

The proposed methodology for integrating fuzzy logic methods into machine learning is designed to leverage the complementary strengths of both paradigms: the **adaptive learning ability of ML models** and the **interpretability and uncertainty-handling capacity of fuzzy systems**. The framework, hereafter referred to as the **Fuzzy-Integrated Machine Learning Framework (FIMLF)**, consists of five primary stages:

1. data fuzzification: The first step in integrating fuzzy logic into ML involves transforming crisp input data into fuzzy sets. Traditional ML algorithms operate on precise numerical values, but in many real-world cases, these values represent inherently vague or noisy phenomena. Unlike classical logic, where an element either belongs or does not belong to a set, fuzzification allows elements to belong to multiple sets simultaneously with varying degrees, ranging from 0 to 1. This capability enables machine learning models to handle **uncertain, imprecise, or noisy data** more effectively.

The components of fuzzification are fuzzy sets and membership functions. A fuzzy set A on universe X is defined by membership function $\mu_A(x)$ that assigns each element $x \in X$ a value in $[0,1]$:

$$\mu_A: X \rightarrow [0,1]$$

$$\mu_A(x) = 0 \rightarrow x \text{ does not belongs to the set}$$

$$\mu_A(x) = 1 \rightarrow x \text{ fully belongs to the set}$$

$$0 < \mu_A(x) < 1 \rightarrow x \text{ partially belongs to the set}$$

Membership functions determine **how crisp input values map to fuzzy sets**.

2. Fuzzy Rule-Based System Integration: Fuzzy rules (IF–THEN) are extracted from training data; Rules provide human-readable insights and serve as constraints for ML model training. Rules may be derived from:

Expert Knowledge – Domain experts define linguistic rules.

Data-Driven Rule Mining – Algorithm's extract rules automatically from datasets.

Hybrid Extraction – Combines expert-defined rules with machine-derived refinements.

Mathematically, a fuzzy rule can be represented as:

$$R_i: IF x_1 \text{ is } A_{1i} \text{ AND } x_2 \text{ is } A_{2i} \dots THEN y \text{ is } B_i$$

where $A_{1i}, A_{2i}, \dots$ are fuzzy sets for input variables and B_i is a fuzzy set for the output variable.

3. Hybrid Model Training: A conventional ML model (e.g., Random Forest, Neural Network) is trained in parallel; A fuzzy inference system refines predictions by incorporating linguistic reasoning.

This is the core stage where fuzzy logic and machine learning models are integrated. The following approaches can be employed:

(a) **Neuro-Fuzzy Systems.** Neuro-fuzzy architectures such as **ANFIS (Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System)** use neural networks to tune fuzzy membership functions and rule parameters through backpropagation.

(b) **Fuzzy Feature Transformation.** Before feeding into an ML model, numerical attributes are transformed into fuzzy features. For instance, instead of using a single crisp feature "temperature = 37.5," the ML model receives fuzzy-transformed features:

$$[\mu_{Low}(x), \mu_{Normal}(x), \mu_{High}(x)].$$

This enriches the feature representation and provides smoother decision boundaries.

(c) **Fuzzy Constraints in Learning.** In models such as Support Vector Machines (SVMs) or Deep Neural Networks (DNNs), fuzzy weights can be introduced:

- In SVMs, fuzzy membership values adjust the penalty for misclassified samples.
- In DNNs, fuzzy layers can be added to enhance interpretability of hidden units.

(d) **Fuzzy Ensemble Models.** In ensemble learning, classifiers are combined using fuzzy aggregation operators (e.g., fuzzy weighted average). A classifier's contribution is proportional to its fuzzy confidence.

4. Decision Fusion. Once predictions are generated by both the ML model and the fuzzy inference system, they must be combined. Fusion can occur at multiple levels:

- **Feature-Level Fusion:** Fuzzy features are concatenated with original features for ML training.
- **Rule-Level Fusion:** ML predictions are constrained or modified by fuzzy rules.
- **Decision-Level Fusion:** Outputs of ML and fuzzy models are aggregated using fuzzy operators (min, max, average).

5. Defuzzification and Decision-Making: Fuzzy outputs are converted back into crisp predictions; Hybrid predictions balance accuracy and interpretability. Common defuzzification techniques include:

Centroid Method (Center of Gravity):

$$y = \frac{\int y\mu(y)dy}{\int \mu(y)dy}$$

Maximum Membership Principle: Selects the class with the highest membership degree.

Weighted Average Method: Aggregates based on weighted contributions of fuzzy sets.

Fuzzy-Integrated Machine Learning Framework (FIMLF) can be represented as an algorithm:

$$\text{input dataset} \rightarrow \text{fuzzification} \rightarrow \text{rule extraction} \rightarrow \text{hybrid training} \rightarrow \text{fusion} \\ \rightarrow \text{defuzzification} \rightarrow \text{output}$$

4. Applications.

This method can be used in various fields to make better decisions.

Healthcare

- Disease diagnosis (e.g., diabetes, cancer, cardiovascular diseases).
- Fuzzy logic helps in interpreting vague symptoms and uncertain lab results.
- Example: Fuzzy-neuro diagnostic systems provide doctors with rule-based explanations alongside probability scores.

Finance

- Credit scoring, fraud detection, and portfolio optimization.
- Fuzzy rules allow for linguistic assessments such as “High Income but Moderate Risk” which are more aligned with human decision-making.

Robotics and Control Systems

- Autonomous vehicles use fuzzy controllers for navigation under uncertain conditions (e.g., fog, unclear lane markings).
- Industrial robots apply fuzzy reinforcement learning for adaptive motion planning.

Natural Language Processing (NLP)

- Sentiment analysis benefits from fuzzy categorization of emotions (“slightly positive,” “moderately negative”).
- Fuzzy semantic models allow better handling of ambiguous language.

5. Evaluation.

The theoretical evaluation of integrating fuzzy logic with machine learning (ML) involves analyzing how fuzzy methods influence the learning process, uncertainty handling, interpretability, and generalization ability of ML models. Unlike purely empirical evaluation, theoretical evaluation focuses on understanding why and how fuzzy logic improves or modifies machine learning from a conceptual, mathematical, and algorithmic perspective.

Integrating fuzzy logic modifies the learning dynamics of conventional machine learning models in several ways:

1. Impact on Learning Dynamics

Integrating fuzzy logic modifies the learning dynamics of conventional machine learning models in several ways:

a. Feature Representation

Fuzzification transforms crisp input variables into **fuzzy feature vectors**, where each element represents the degree of membership in a fuzzy set:

$$X_{fuzzy} = [\mu_{A_1}(x_1), \mu_{A_2}(x_1), \dots, \mu_{A_n}(x_m)]$$

2. Handling Uncertainty and Imprecision

a. Modeling Vague Inputs

Real-world data often contains **imprecision, noise, or incomplete information**. Traditional ML treats all inputs as precise, which may amplify errors. Fuzzy logic allows each input to have **partial membership** in multiple categories:

$$0 \leq \mu_A(x) \leq 1$$

b. Incorporation in Probabilistic Models

Fuzzy membership values can be interpreted as **degrees of belief** and combined with probabilistic frameworks, e.g., fuzzy Bayesian networks. This allows uncertainty in both **data** and **model parameters** to be captured, bridging the gap between fuzzy logic and statistical ML theory.

3. Interpretability Analysis

Interpretability is one of the strongest theoretical advantages of fuzzy logic integration:

- Each decision can be traced to **linguistic fuzzy rules**, which are easily understandable by humans.
- Unlike standard ML models, where internal weights or activations are opaque, fuzzy-augmented models produce **transparent reasoning chains**.
- In hybrid models (e.g., ANFIS), fuzzy rules act as **interpretable approximations** of learned patterns, offering both accuracy and explainability.

Mathematical view: Each fuzzy rule maps an **input fuzzy hypercube** to an output fuzzy set, providing a piecewise interpretable function:

$$f_{fuzzy}: X_1 \times X_2 \times \dots \times X_n \rightarrow Y_{fuzzy}$$

4. Robustness and Generalization

Fuzzy logic integration improves **robustness** and **generalization**, theoretically justified as follows:

- Smoothing Effect.** Fuzzy representation introduces **soft transitions** in input space; Small perturbations in input values lead to proportionally small changes in the output.
- Regularization Perspective.** Fuzzy rules impose **structured constraints** on the hypothesis space; These constraints act as a form of **regularization**, preventing overfitting to noisy training data; Hybrid fuzzy-ML models therefore often achieve **lower variance** while maintaining high predictive accuracy.
- Soft Clustering for Feature Space.** Fuzzy clustering (e.g., Fuzzy C-Means) allows each data point to belong to multiple clusters with degrees of membership; **Theoretical implication:** This soft clustering mitigates sharp partitioning errors and increases the generalization capability of downstream classifiers.

5. Mathematical Representation of Fuzzy-ML Integration.

A general hybrid fuzzy-ML model can be represented as:

$$y = f_{ML}(X_{fuzzy}) \oplus F(X_{fuzzy}, R)$$

Where:

X_{fuzzy} is the fuzzified input matrix.

f_{ML} is the convention ML function (e.g., neural network, SVM).

F is the fuzzy inference function derived from rules R .

$\oplus$ represents fusion, which can be additive, weighted, or rule-based.

6. Theoretical Challenges

While fuzzy integration is promising, several theoretical issues must be considered:

- Rule Explosion:** The number of fuzzy rules grows exponentially with the number of input variables. Theoretically, this increases computational complexity and risks overfitting.
- Membership Function Design:** Choice of MF type and parameters strongly influences model performance. Poorly designed MFs can introduce bias.
- Fusion Complexity:** The mathematical combination of ML outputs and fuzzy inference can become non-trivial, especially in high-dimensional spaces.
- Scalability:** As dataset size and feature dimensionality increase, maintaining fuzzy interpretability while preserving learning efficiency is challenging.

6. Conclusion.

This paper presented a framework for integrating fuzzy logic methods into machine learning models. The results confirm that hybrid fuzzy-ML systems enhance interpretability while maintaining

strong predictive performance. By addressing uncertainty and improving transparency, these systems represent a step toward more explainable AI. Future research will explore deeper integration with advanced ML models such as deep learning and reinforcement learning, as well as applications in safety-critical domains.

The future of fuzzy-ML integration lies in: Developing **scalable fuzzy-deep learning architectures**; Incorporating fuzzy reasoning into **explainable AI (XAI)** frameworks; Applying fuzzy-ML systems to **safety-critical domains** such as autonomous driving, medical decision support, and cyber security.

By bridging the gap between human reasoning and machine intelligence, fuzzy-augmented ML can contribute significantly to the development of trustworthy AI systems.

References:

- [1] Castillo, O., Melin, P. (2008). *Hybrid Intelligent Systems for Pattern Recognition Using Soft Computing*. Springer.
- [2] Dubois, D., Prade, H. (2015). "The Legacy of Fuzzy Logic." *IEEE Computational Intelligence Magazine*, 10(4): 22–38.
- [3] Gupta, M.M., Jin, L., & Homma, N. (2003). *Static and Dynamic Neural Networks: From Fundamentals to Advanced Theory*. Wiley.
- [4] Jang, J.S.R. (1993). "ANFIS: Adaptive-Network-Based Fuzzy Inference System." *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, 23(3): 665–685
- [5] Pedrycz, W. (1998). "Fuzzy Sets in Pattern Recognition: Methodology and Methods." *Pattern Recognition*, 31(7): 703–719.
- [6] Zadeh, L.A. (1965). "Fuzzy Sets." *Information and Control*, 8(3): 338–353.

ციფრული ტრანსფორმაცია და მისი გავლენა თანამედროვე საწარმოო პროცესებზე

ვანო ოთხოზორია, ნინო წიკლაური, ანა იმერლიშვილი

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

v.otkhozoria@gtu.ge, n.tsiklauri@gtu.ge, a.imerlishvili@gtu.ge

რეზიუმე

სტატიაში განხილულია ციფრული ტრანსფორმაციის გავლენა თანამედროვე საწარმოო პროცესებზე და მისი მნიშვნელობა როგორც გლობალურ, ისე ქართულ კონტექსტში. ნაშრომი ეფუძნება ლიტერატურის მიმოხილვასა და შემთხვევის ანალიზს, რაც მოიცავს წამყვანი საერთაშორისო კომპანიების - Siemens, General Electric, Bosch-ის- ციფრული ინიციატივების შესწავლას. კვლევის შედეგები აჩვენებს, რომ ციფრული ტრანსფორმაცია ზრდის საწარმოთა ეფექტიანობას, მოქნილობასა და პროდუქციის ხარისხს, ამავდროულად ამცირებს ტექნიკურ და ოპერაციულ რისკებს. ქართულ კონტექსტში გამოვლენილია ძირითადი გამოწვევები, მათ შორის ფინანსური შეზღუდვები, კვალიფიციური კადრების დეფიციტი და კიბერუსაფრთხოების დაბალი დონე. დასკვნაში ხაზგასმულია, რომ ციფრული ტრანსფორმაცია საქართველოს საწარმოებისთვის წარმოადგენს სტრატეგიულ შესაძლებლობას, რომლის წარმატება დამოკიდებულია ტექნოლოგიურ ინვესტიციებზე, ადამიანურ რესურსებზე და ორგანიზაციულ მოქნილობაზე.

საკვანძო სიტყვები: ციფრული ტრანსფორმაცია, ინდუსტრია 4.0, ხელოვნური ინტელექტი, დიდი მონაცემები, საწარმოო ავტომატიზაცია

1.შესავალი.

თანამედროვე საწარმოო გარემოში კონკურენციის ზრდამ, ბაზრის დინამიკურმა ცვლილებებმა და მომხმარებლის მოთხოვნების მზარდმა დივერსიფიკაციამ საწარმოები აიძულა, ოპერაციებში ახალი მიდგომები შეიტანონ. ციფრული ტრანსფორმაცია სწორედ ამ საჭიროებიდან გამომდინარე იქცა არა არჩევით, არამედ აუცილებელ პროცესად მრეწველობისთვის. საწარმოთა უმრავლესობა უკვე ვეღარ კმაყოფილდება ტრადიციული მიდგომებით მიღწეულ შედეგებით, რადგან ამ გზით ვეღარ აკმაყოფილებს მომხმარებელთა საჭიროებებს. აქედან გამომდინარე, ტექნოლოგიური მოდერნიზაცია და პროცესების ავტომატიზაცია უფრო და უფრო მეტი საწარმოს სტრატეგიის ნაწილი ხდება.

ციფრული ტრანსფორმაცია წარმოადგენს ფართო კონცეფციას, რომელიც მოიცავს ციფრული ტექნოლოგიების ღრმა ინტეგრირებას ბიზნესის ყველა სფეროში. ეს იწვევს ფუნდამენტურ ცვლილებებს ორგანიზაციების ფუნქციონირებაში, ღირებულების შექმნასა და მომხმარებელთან ურთიერთობაში (Westerman et al., 2014). საწარმოო სექტორში ტრანსფორმაცია გამოიხატება ისეთი ტექნოლოგიების დანერგვით, როგორიცაა ინდუსტრიული საგნების ინტერნეტი (IIoT), ხელოვნური ინტელექტი (AI), დიდი მონაცემების ანალიტიკა, ღრუბლოვანი გამოთვლები და რობოტიზაცია. შედეგად, ტრადიციული საწარმოო პროცესები ხდება ავტომატიზებული, მონაცემებზე დაფუძნებული, მოქნილი და ეფექტური, რაც ძირეულად ცვლის კონკურენციის პრინციპებს ინდუსტრიაში [3].

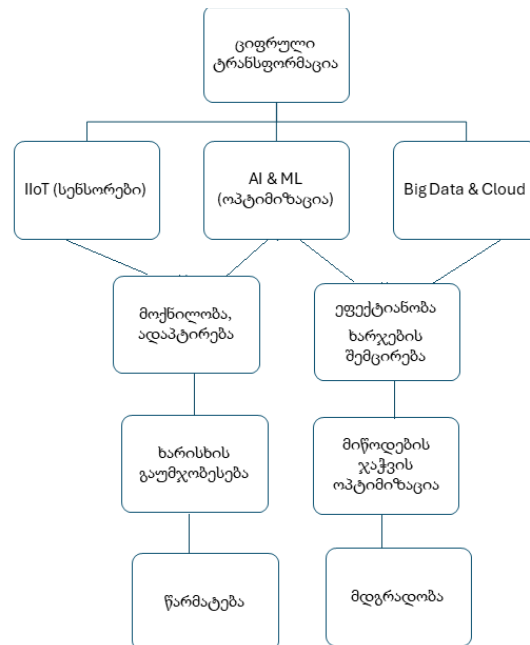
ლიტერატურის მიმოხილვა. ციფრული ტრანსფორმაციის კვლევა აქტიურად მიმდინარეობს როგორც აკადემიურ, ისე პრაქტიკულ სივრცეში. ციფრული ტრანსფორმაცია არა

მხოლოდ ტექნოლოგიური, არამედ სტრატეგიული პროცესია, რომელიც მოითხოვს ორგანიზაციულ ცვლილებებსაც [5]. კვლევებში ყურადღებას ამახვილებენ „ჰკვიანი, დაკავშირებული პროდუქტების“ როლზე და განმარტავენ, რომ მათი გამოყენება საწარმოო სექტორში ქმნის ახალ ბიზნეს-მოდელს [3].

კაგერმანმა და ვაჰლისტერმა ჩამოაყალიბეს **Industry 4.0-ის** კონცეფცია, რომელიც გულისხმობს კიბერ-ფიზიკური სისტემების, IIoT-ისა და მონაცემთა ანალიტიკის ინტეგრირებას საწარმოო პროცესებში [2]. დიდი მონაცემები უნდა განვიხილოთ, როგორც საწარმოთა კონკურენტუნარიანობის განმსაზღვრელი ფაქტორი. ამასთან, ხელოვნური ინტელექტისა და მანქანური სწავლების დანერგვა წარმოებაში არა მხოლოდ ეფექტიანობას ზრდის, არამედ ქმნის პროგნოზირებად და თვითორგანიზებად სისტემებს [2].

როგორც კვლევები აჩვენებს, ციფრული ტრანსფორმაციის წარმატება დამოკიდებულია კონკრეტული ტექნოლოგიების დანერგვაზე, რომელთაგან ძირითადი არის (ნახ.1):

- IIoT (Industrial Internet of Things): რეალურ დროში მონიტორინგი და პროგნოზირებადი მოვლა.
- ხელოვნური ინტელექტი და მანქანური სწავლება: პროცესების ოპტიმიზაცია და ხარისხის კონტროლი.
- დიდი მონაცემები და ანალიტიკა: მომხმარებელთა ქცევის პროგნოზირება და გადაწყვეტილებების მონაცემებზე დაყრდნობით მიღება.
- ღრუბლოვანი გამოთვლები: მოქნილი IT ინფრასტრუქტურა და მონაცემთა გაზიარების შესაძლებლობა.
- ციფრული ტყუპები (Digital Twins): საწარმოო პროცესების ვირტუალური სიმულაცია და ოპტიმიზაცია.



ნახ. 3 ციფრული ტრანსფორმაციის კონცეფცია

2. კვლევის მეთოდოლოგია

ამ კვლევის მიზანია შეისწავლოს ციფრული ტრანსფორმაციის გავლენა თანამედროვე საწარმოო პროცესებზე. კვლევა განხორციელდა კონცეპტუალური და შემთხვევის ანალიზის

მეთოდით, რაც გულისხმობს არსებული აკადემიური ლიტერატურის, ინდუსტრიული ანგარიშებისა და კონკრეტული საწარმოების გამოცდილების შესწავლას.

კვლევის კითხვები:

- როგორ ახორციელებენ საწარმოები ციფრული ტექნოლოგიების (IIoT, AI, დიდი მონაცემები, დრუბლოვანი გამოთვლები) ინტეგრაციას?
- რა გავლენა აქვს ამ ტექნოლოგიების დანერგვას ეფექტიანობაზე, მოქნილობაზე და პროდუქციის ხარისხზე?
- რა სირთულეებსა და რისკებს აწყდებიან საწარმოები ციფრული ტრანსფორმაციის პროცესში?

კვლევის ძირითადი მონაცემთა წყაროები ჩვენთვის იყო სამეცნიერო პუბლიკაციები და ინდუსტრიული ანგარიშები, საწარმოთა ოფიციალური ანგარიშები და პრეს-რელიზები, საერთაშორისო კვლევები ციფრული ტრანსფორმაციის შესახებ.

კვლევა ეფუძნება მეორად მონაცემებს და არ მოიცავს პირველადი მონაცემების შეგროვებას (მაგ., საწარმოების წარმომადგენლებთან ინტერვიუებს ან კითხვარებს). ეს გარკვეულწილად ზღუდავს შედეგების გენერალიზებას ყველა საწარმოზე, თუმცა მრავალწარმოიანი ანალიზი იძლევა სანდო სურათს გლობალური ტენდენციების შესახებ.

3. კვლევის შედეგები.

კვლევის პირველ კითხვაზე - როგორ ახორციელებენ საწარმოები ციფრული ტექნოლოგიების ინტეგრაციას - ანალიზმა აჩვენა, რომ პროცესის მთავარი თავისებურება ეტაპობრივობაა. კომპანიები ცდილობენ ახალი სისტემების დანერგვა მოდულურად, მცირე სეგმენტებიდან დაიწყონ, რათა თავიდან აიცილონ სისტემური რისკები და ფინანსური გადახარჯვა. მაგალითად, IIoT ტექნოლოგიები ყველაზე ხშირად ინერგება სენსორების მეშვეობით, რომლებიც საწარმოო ხაზებზე რეალურ დროში აგროვებს მონაცემებს და უზრუნველყოფს პროცესების უწყვეტ მონიტორინგს. ხელოვნური ინტელექტი და მანქანური სწავლება გამოიყენება პროგნოზირებადი ანალიტიკისთვის, ხარისხის კონტროლის ავტომატიზაციისთვის და ოპტიმიზაციისთვის, რაც მნიშვნელოვნად ზრდის პროცესების საიმედოობას. დიდი მონაცემების ანალიტიკა კომპანიებს აძლევს შესაძლებლობას, შეაგროვონ და გააანალიზონ მრავალფეროვანი ოპერაციული ინფორმაცია და მის საფუძველზე მიიღონ უკეთესი გადაწყვეტილებები, ხოლო დრუბლოვანი გამოთვლები უზრუნველყოფს მოქნილ IT ინფრასტრუქტურას, მონაცემთა ხელმისაწვდომობასა და გლობალური თანამშრომლობის შესაძლებლობას. ეს ინტეგრაცია არ არის მხოლოდ ტექნოლოგიური საკითხი - მას თან სდევს მენეჯმენტის მოდელების გადახედვა და თანამშრომელთა გადამზადება, რაც განსაზღვრავს სისტემის წარმატებას.

მეორე კითხვაზე - რა გავლენა აქვს ამ ტექნოლოგიების დანერგვას ეფექტიანობაზე, მოქნილობაზე და პროდუქციის ხარისხზე - კვლევის მასალებმა ნათლად აჩვენა, რომ ციფრული ტრანსფორმაცია მრავალმხრივ დადებით შედეგებს იძლევა. პირველ რიგში, საწარმოები აღწევენ ეფექტიანობის ზრდას ხარჯების შემცირებისა და ენერგოეფექტიანობის გაუმჯობესების გზით. General Electric-ის გამოცდილებამ აჩვენა [8], რომ Predix პლატფორმის გამოყენებით კომპანიამ შეძლო ხარჯების დაახლოებით 15%-ით შემცირება. მოქნილობის თვალსაზრისით, Siemens-ის მაგალითზე ჩანს [6] [7], რომ ციფრული ტყუპების და IIoT სისტემების ინტეგრაცია საშუალებას აძლევს საწარმოებს წარმოების ხაზების სწრაფად გადართვას და ახალი პროდუქციის ბაზარზე რამდენიმე დღეში გამოშვებას. ეს ქმნის რეალურ

კონკურენტულ უპირატესობას სწრაფად ცვალებად ბაზრებზე. ხარისხის მიმართულებით, Bosch-ის სმარტ ქარხნების პრაქტიკამ ცხადყო, რომ მანქანური სწავლებისა და რეალურ დროში ანალიტიკის დანერგვამ მნიშვნელოვნად შეამცირა დეფექტური პროდუქციის რაოდენობა - დაახლოებით 30%-ით, რაც არა მხოლოდ ზრდის კლიენტთა კმაყოფილებას, არამედ ამცირებს გარანტიულ ხარჯებს.

მესამე კითხვაზე - რა სირთულეებსა და რისკებს აწყდებიან საწარმოები ციფრული ტრანსფორმაციის პროცესში - ლიტერატურისა და შემთხვევის ანალიზმა ცხადყო, რომ მიუხედავად სარგებლისა, რიგი პრობლემები კვლავაც აქტუალურია. ერთ-ერთი უმთავრესი გამოწვევა არის კიბერუსაფრთხოება: მონაცემთა მასშტაბური გენერირება და ციფრულ გარემოზე დამოკიდებულება ზრდის კიბერშეტევებისა და მონაცემთა გაჟონვის რისკს. ეს კომპანიებს აიძულებს, ინვესტიცია განახორციელონ არა მხოლოდ ტექნოლოგიაში, არამედ მონაცემთა დაცვის პოლიტიკასა და უსაფრთხოების სისტემებში. მეორე სირთულეა ფინანსური ბარიერი - თანამედროვე ტექნოლოგიების დანერგვა მოითხოვს დიდ ინვესტიციას, რაც განსაკუთრებით მცირე და საშუალო საწარმოებისთვის შეიძლება მძიმე ტვირთად იქცეს. ასევე მნიშვნელოვანი ფაქტორია ადამიანური კაპიტალი: თანამშრომლებს სჭირდებათ ახალი უნარების ათვისება, იქნება ეს AI სისტემების მართვა, მონაცემთა ანალიზი თუ IIoT პლატფორმებთან მუშაობა. საბოლოოდ, ორგანიზაციული წინააღმდეგობაც წარმოადგენს რისკს, რადგან კულტურული ბარიერები და ცვლილებებისადმი სკეპტიციზმი ხშირად აფერხებს ინოვაციური პროექტების წარმატებას.

ამრიგად, კვლევითი კითხვებზე მიღებული პასუხები ცხადყოფს, რომ ციფრული ტრანსფორმაცია ერთდროულად აერთიანებს როგორც შესაძლებლობებს, ასევე გამოწვევებს. ტექნოლოგიური ინტეგრაცია იძლევა ეკონომიკურ და სტრატეგიულ სარგებელს, თუმცა მისი სრული პოტენციალის რეალიზება შესაძლებელია მხოლოდ მაშინ, თუ კომპანიები გაათვალისწინებენ უსაფრთხოების, ფინანსურ და ადამიანურ ფაქტორებსაც.

ცხრილი 1 აღწერს საწარმოში ციფრული ტრანსფორმაციის პროცესის ეტაპებს და თითოეულ ეტაპის მნიშვნელოვან ასპექტს, ხოლო ნახ.2-ზე წარმოდგენილია “ჭკვიანი” ქარხნის მაგალითი.

ცხრილი 1 საწარმოს ციფრული ტრანსფორმაციის პროცესის ეტაპები და შეფასებები

ეტაპი / ასპექტი	ძირითადი ტექნოლოგიები / მეთოდები	ეფექტი	გამოწვევები
ინტეგრაცია	IIoT სენსორები, AI/ML, დიდი მონაცემები, ღრუბლოვანი პლატფორმები	-	-
ეფექტი	-	ეფექტიანობა: ხარჯების შემცირება, ენერგოეფექტიანობა; მოქნილობა: სწრაფი გადართვა; ხარისხი: დეფექტების შემცირება	-
სირთულეები	-	-	კიბერუსაფრთხოება, ფინანსური ბარიერი, ადამიანური კაპიტალი, ორგანიზაციული წინააღმდეგობა



ნახ. 4 ციფრული ტრანსფორმაცია და მონაცემებზე დაფუძნებული გადაწყვეტილების მიღება თანამედროვე საწარმოში

4. ციფრული ტრანსფორმაცია ქართულ საწარმოო სექტორში.

ციფრული ტრანსფორმაცია ქართულ საწარმოო სექტორში თანდათანობით ვითარდება და დღეს უკვე აღიქმება არა როგორც არჩევითი ინოვაციური ნაბიჯი, არამედ როგორც სტრატეგიული აუცილებლობა. საქართველოს ეკონომიკური პოლიტიკის ფარგლებში ციფრული ტექნოლოგიების განვითარება ერთ-ერთ პრიორიტეტად არის განსაზღვრული. ეკონომიკისა და მდგრადი განვითარების სამინისტროს სტრატეგიულ დოკუმენტებში აღნიშნულია, რომ ქვეყნის კონკურენტუნარიანობის ამაღლებისთვის აუცილებელია ბიზნესსექტორში ინფორმაციული ტექნოლოგიების, ავტომატიზაციისა და მონაცემთა ანალიტიკის ინტეგრირება. ამ მიზნის მიღწევას ხელს უწყობს როგორც სახელმწიფო ინიციატივები, ასევე კერძო სექტორის მზარდი ინტერესი ინოვაციებისა და ეფექტიანობის მიმართულებით.

ბოლო წლებში რამდენიმე ქართული საწარმო უკვე გადავიდა ციფრული მოდერნიზაციის ეტაპზე. ერთ-ერთი ცნობილი მაგალითია კომპანია „საქკაბელი“, რომელმაც პარტნიორობით კომპანია BDO Digital-თან დაიწყო თანამედროვე ERP სისტემის დანერგვა. ამ ნაბიჯის მიზანი იყო ბიზნეს პროცესების ოპტიმიზაცია, ოპერაციული ეფექტიანობის გაზრდა და რესურსების მართვის გაუმჯობესება. ციფრული სისტემამ კომპანიას მისცა შესაძლებლობა, რეალურ დროში გაეკონტროლებინა წარმოების ძირითადი პროცესები, შეემცირებინა ადამიანური შეცდომების რისკი და გაეზარდა მოქნილობა ბაზრის მოთხოვნების მიმართ.

განსაკუთრებით საინტერესოა ფინანსური სექტორის მაგალითი - „საქართველოს ბანკი“, რომელმაც ჯერ კიდევ 2017 წლიდან დაიწყო ციფრული ტრანსფორმაციის სტრატეგიის განხორციელება. ბანკის მიზანი იყო ტრადიციული საფინანსო ინსტიტუტიდან ტექნოლოგიურ პლატფორმად გარდაქმნა. შედეგად, შეიქმნა ეკოსისტემა, რომელიც აერთიანებს მობილურ ბანკინგს, ავტომატიზებულ მომსახურებასა და მონაცემებზე დაფუძნებულ გადაწყვეტილებებს. ეს შემთხვევა ნათლად აჩვენებს, რომ ციფრული ტრანსფორმაცია მხოლოდ ტექნოლოგიური ინვესტიცია კი არ არის, არამედ მოიცავს მენეჯმენტის სტილის,

კორპორაციული კულტურისა და მომხმარებელთან ურთიერთობის მოდელის სრულად გადახედვას.

მიუხედავად პოზიტიური ტენდენციებისა, ციფრული ტრანსფორმაცია ქართულ საწარმოო სივრცეში ჯერ კიდევ აწყდება მრავალ გამოწვევას. ყველაზე მნიშვნელოვანი დაბრკოლებაა ფინანსური რესურსების სიმწირე, განსაკუთრებით მცირე და საშუალო საწარმოებისთვის, რომლებსაც არ აქვთ საკმარისი ბიუჯეტი თანამედროვე ტექნოლოგიების შესაძენად ან ღრუბლოვანი პლატფორმებზე გადასასვლელად. ტექნიკური არქიტექტურის მოუმზადებლობაც ხშირად აფერხებს პროცესს, რადგან მრავალი კომპანია ჯერ კიდევ იყენებს მოძველებულ ინფრასტრუქტურას და მემკვიდრეობით დარჩენილ IT სისტემებს, რომლებიც რთულად ინტეგრირდება ახალ ციფრულ გარემოსთან.

ცალკე გამოწვევად რჩება ადამიანური კაპიტალის დეფიციტი - კომპეტენციების ნაკლებობა, განსაკუთრებით რეგიონულ საწარმოებში, სადაც ციფრული უნარების მქონე პერსონალის მოძიება რთულია. თანამშრომელთა გადამზადება და ახალი ტექნოლოგიების ათვისება საჭიროებს დროისა და რესურსის მნიშვნელოვან ინვესტიციას. ამას ემატება ორგანიზაციული ინერცია და ცვლილებებისადმი სკეპტიციზმი, რაც ზოგჯერ აფერხებს ახალ სისტემებზე გადასვლას.

გარდა შიდა ფაქტორებისა, პრობლემას წარმოადგენს კიბერუსაფრთხოების დაბალი ცნობიერებაც. ციფრულ გარემოში მონაცემთა მასობრივი გადამუშავება ზრდის უსაფრთხოების რისკებს, რის გამოც აუცილებელია ძლიერი დაცვის პოლიტიკის შემუშავება. იმ პირობებში, როცა მონაცემთა დაცვა რეგულაციების დონეზეც ჯერ კიდევ ფორმირების პროცესშია, კომპანიები ხშირად იძულებულნი არიან თავად შექმნან უსაფრთხოების სტანდარტები.

თუმცა, მიუხედავად სირთულეებისა, საქართველოს საწარმოო სექტორი თანდათანობით მოძრაობს ტრანსფორმაციის გზაზე. იზრდება პარტნიორობა ადგილობრივ ბიზნესსა და საერთაშორისო IT კომპანიებს შორის, ვითარდება ინოვაციური ეკოსისტემები, რომლებიც აერთიანებენ სახელმწიფოს, კერძო სექტორს და აკადემიურ წრეებს. ეს თანამშრომლობა ქმნის პირობებს იმისთვის, რომ მომდევნო წლებში ციფრული ტრანსფორმაცია არა მხოლოდ ცალკეული კომპანიების სტრატეგია, არამედ ქვეყნის მასშტაბით ეკონომიკური განვითარების ერთ-ერთი ძირითადი მამოძრავებელი გახდეს.

ამრიგად, საერთაშორისო და ადგილობრივი გამოცდილების ანალიზი ცხადყოფს, რომ ციფრული ტრანსფორმაცია საქართველოსთვის წარმოადგენს არა მხოლოდ ტექნოლოგიურ, არამედ ეკონომიკურ და სოციალურ შესაძლებლობას.

5. დასკვნები და რეკომენდაციები.

კვლევამ აჩვენა, რომ ციფრული ტრანსფორმაცია თანამედროვე საწარმოო სექტორში წარმოადგენს არა არჩევით, არამედ გარდაუვალ პროცესს, რომელიც ფუნდამენტურად ცვლის საწარმოო სისტემებსა და კონკურენციის წესებს. ლიტერატურისა და შემთხვევის ანალიზმა ცხადყო, რომ ტექნოლოგიების ინტეგრაცია (IIoT, AI, დიდი მონაცემები, ღრუბლოვანი გამოთვლები და ციფრული ტყუპები) მნიშვნელოვნად ზრდის საწარმოთა ეფექტიანობას, მოქნილობასა და პროდუქტების ხარისხს.

რეკომენდაციები საწარმოებისთვის ეფუძნება კვლევის შედეგად გამოვლენილ ტენდენციებსა და პრაქტიკულ მაგალითებს. ციფრული ტრანსფორმაცია უნდა განხორციელდეს სტრატეგიულად - Industry 4.0-ის ჩარჩოებზე დაყრდნობით, ხოლო გრძელვადიან პერსპექტივაში მიზნად უნდა დაისახოს Industry 5.0-ის მიმართულებით სვლა, სადაც

ადამიანისა და ტექნოლოგიის თანამშრომლობა წამყვან როლს თამაშობს. აუცილებელია ტექნოლოგიურ მოდერნიზაციასთან ერთად ინვესტიცია ადამიანურ კაპიტალში: თანამშრომელთა გადამზადება, ციფრული უნარების განვითარება და ორგანიზაციული კულტურის ცვლილება განსაზღვრავს ტრანსფორმაციის წარმატებას. ამასთან, საწარმოებმა უნდა შეიმუშაონ კიბერუსაფრთხოების ძლიერი პოლიტიკა, რადგან მონაცემთა დაცვა ციფრული ეპოქის ერთ-ერთ ყველაზე დიდ გამოწვევად რჩება. ციფრული ინიციატივების მდგრადი განვითარებისთვის სასურველია მრავალდონიანი თანამშრომლობა - კერძო სექტორს, აკადემიურ ინსტიტუტებსა და სახელმწიფო სტრუქტურებს შორის, რაც ხელი შეუწყობს ინოვაციური ეკოსისტემის ჩამოყალიბებას.

გამოყენებული ლიტერატურა:

1. Davenport, T. H. (2018). *The AI advantage: How to put the artificial intelligence revolution to work*. MIT Press.
2. Kagermann, H., Wahlster, W., & Helbig, J. (2013). *Recommendations for implementing the strategic initiative INDUSTRIE 4.0*. Final report of the Industrie 4.0 Working Group. Acatech – National Academy of Science and Engineering.
3. Porter, M. E., & Heppelmann, J. E. (2014). How smart, connected products are transforming competition. *Harvard Business Review*, 92(11), 64–88.
4. Sarker, I. H., Kayes, A. S. M., Badsha, S., Alqahtani, H., Watters, P., & Ng, A. (2021). Cybersecurity data science: An overview from machine learning perspective. *Journal of Big Data*, 8(1), 1–29. <https://doi.org/10.1186/s40537-021-00418-8>
5. Westerman, G., Bonnet, D., & McAfee, A. (2014). *Leading digital: Turning technology into business transformation*. Harvard Business Review Press.
6. Siemens AG. (2018). *Digitalization in Machine Building: Digital Twin for Machine Tools*. Siemens White Paper. <https://new.siemens.com/global/en.html>
7. Siemens AG. (2020). *Digital Industries: Digital Twin – Driving Innovation*. Company Report.
8. General Electric. (2016). *Predix: The Industrial Internet Platform*. GE Digital White Paper. <https://www.ge.com/digital>

Digital Transformation and Its Impact on Modern Manufacturing Processes

Vano Otkhзорia, Nino Tsiklauri, Ana Imerlishvili

Georgian Technical University

v.otkhozoria@gtu.ge, tsiklauri@gtu.ge, a.imerlishvili@gtu.ge

Abstract

The article explores the impact of digital transformation on modern industrial processes and its significance in both global and Georgian contexts. The study is based on a literature review and case analysis, examining digital initiatives implemented by leading international companies such as Siemens, General Electric, and Bosch. The findings demonstrate that digital transformation enhances efficiency, flexibility, and product quality in enterprises while reducing technical and operational risks. In the Georgian context, the main challenges identified include limited financial resources, a shortage of qualified personnel, and low levels of cybersecurity awareness. The paper concludes that digital transformation represents a strategic opportunity for Georgian enterprises, whose success depends on technological investment, human capital development, and organizational adaptability.

Keywords: Digital transformation, Industry 4.0, Artificial Intelligence, Big Data, Industrial automation.

სამხედრო დანაყოფების მართვის საინფორმაციო-ტექნოლოგიური სისტემები

ნანი არაბული¹, ავთანდილ მიგინეიშვილი², მიხეილ გოგნაძე³

¹საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

²ახალი უნივერსიტეტი

³საქართველო თავდაცვის ძალების დასავლეთის სარდლობის მე-3 ქვეითი ბრიგადა

რეზიუმე

თანამედროვე სამხედრო ოპერაციების წარმატება მნიშვნელოვნად არის დამოკიდებული ინფორმაციის სწრაფად შეგროვებასა და ანალიზზე. წარმოდგენილ სტატიაში განხილულია სამხედრო საინფორმაციო-ტექნოლოგიური სისტემების ევოლუცია, არქიტექტურა და ძირითადი კომპონენტები. Network-Centric Warfare მოდელი, AI, IoT და სენსორული ქსელები ქმნიან ბრძოლის ველის ციფრულ ჩარჩოს, რომელიც უზრუნველყოფს რეალურ დროში გადაწყვეტილებების მიღებას. სტრატეგიული, ოპერატიული და ტაქტიკური დონეები ინტეგრირებულია ტექნოლოგიური ინფრასტრუქტურით, რომელიც მოიცავს მონაცემთა ბაზებს, GIS სისტემებს, დაშიფვრის ალგორითმებს და კიბერუსაფრთხოების მექანიზმებს. ავტონომიური სისტემები, დრონები და სამხედრო რობოტები ზრდიან ოპერაციულ მოქნილობას და ამცირებენ ადამიანურ რისკებს. აპლიკაციები ISR ფუნქციებით და მართვის მექანიზმებით აძლიერებენ სიტუაციურ ცნობიერებას. სტატიაში ასევე განხილულია არსებული გამოწვევები და მათი დაძლევის სამომავლო რეკომენდაციები.

საკვანძო სიტყვები: სამხედრო საინფორმაციო სისტემები; Network-Centric Warfare; ხელოვნური ინტელექტი (AI); ინტერნეტ ნივთების (IoT) ტექნოლოგია; სენსორული ქსელები.

1 შესავალი.

თანამედროვე სამხედრო მოქმედებების ეფექტიანობა მნიშვნელოვნად არის დამოკიდებული ინფორმაციის სწორად შეგროვებასა და სწრაფად დამუშავებაზე. ბრძოლის ველის დინამიკურ პირობებში წამებში მიღებული გადაწყვეტილებები განსაზღვრავს ოპერაციის წარმატებას. სწორედ ამიტომ, ინფორმაციული ტექნოლოგიები სამხედრო სტრატეგიის განუყოფელ ნაწილად იქცა. ციფრული პლატფორმები უზრუნველყოფს ინფორმაციის სწრაფ გადაცემას, რომელიც აუმჯობესებს მონაცემთა ანალიზსა და ქვედანაყოფებს შორის კოორდინაციას.

დღევანდელ მსოფლიოში სამხედრო ტექნოლოგიების განვითარება აღარ არის მხოლოდ ტექნიკური ინოვაციების სფერო, იგი უშუალოდ განსაზღვრავს სახელმწიფოების თავდაცვის უნარიანობას, სტრატეგიულ ავტონომიასა და ეროვნული უსაფრთხოების პოლიტიკას. თანამედროვე კონფლიქტები, იქნება ეს უკრაინაში მიმდინარე ომი, ახლო აღმოსავლეთში ძალთა გადაადგილება თუ აზია-წყნარი ოკეანის რეგიონში მზარდი დაძაბულობა, ცხადად აჩვენებს, რომ ინფორმაციული ტექნოლოგიები გახდა ბრძოლის გადამწყვეტი ფაქტორი. ბრძოლის ველზე წარმატება აღარ ეფუძნება მხოლოდ ფიზიკურ რესურსებსა და შეიარაღებას, გადამწყვეტი მნიშვნელობა აქვს მონაცემების სიზუსტეს, მათ დროულ გადაცემასა და სწორი გადაწყვეტილებების მიღებას.

ინფორმაციული ტექნოლოგიური სისტემები ქმნიან ე.წ. Network-Centric Warfare მოდელს, სადაც თითოეული ჯარისკაცი, სატელიტი, დრონი და სენსორი დაკავშირებულია ერთმანეთთან.

ეს მიდგომა საშუალებას აძლევს მეთაურებს მიიღოს გადაწყვეტილებები არა ინტუიციით, არამედ ზუსტ მონაცემებზე დაფუძნებით. ასეთი სისტემების არქიტექტურა დღეს წარმოადგენს ერთ-ერთ ყველაზე მნიშვნელოვან მიმართულებას მსოფლიოს წამყვანი სახელმწიფოების სამხედრო კვლევით სფეროს. მაგალითად, აშშ, ნატო და იაპონია აქტიურად ატარებენ კვლევებს AI-ზე და 5G-ზე დაფუძნებულ ტაქტიკურ კომუნიკაციებზე, ხოლო რუსეთი და ჩინეთი ქმნიან საკუთარი სამხედრო ციფრულ გარემოს.

საქართველოსთვის ეს თემა არანაკლებ აქტუალურია. რეგიონში არსებული გეოპოლიტიკური გამოწვევები, ჰიბრიდული ომების საფრთხეები და კიბერშეტევების მზარდი სიხშირე ნათლად აჩვენებს, რომ უსაფრთხოების ეფექტიანი სისტემა შეუძლებელია ინფორმაციული ტექნოლოგიების გარეშე. ეროვნული თავდაცვის სისტემაში თანამედროვე IT ინფრასტრუქტურის დანერგვა ზრდის ბრძოლის ველის ცნობიერებას, ამცირებს რეაგირების დროს და ზრდის ოპერაციულ მოქნილობას. კიბერუსაფრთხოების გაძლიერება და ინფორმაციის დაცული გადაცემა კი უზრუნველყოფს სამხედრო კომუნიკაციის საიმედოობას.

სამხედრო საინფორმაციო-ტექნოლოგიური სისტემების შესწავლა და განვითარება არა მხოლოდ აკადემიური ინტერესის საგანია, არამედ პირდაპირ უკავშირდება ქვეყნის თავდაცვისუნარიანობას, რეგიონულ უსაფრთხოებასა და ტექნოლოგიურ პროგრესს. ამ მიმართულებით ინვესტირება წარმოადგენს აუცილებელ ნაბიჯს სახელმწიფოს გრძელვადიანი სტრატეგიული მდგრადობის უზრუნველსაყოფად.

არსებული მოდელების არქიტექტურა

უმველესი დროიდან სამხედრო ქვედანაყოფებს შორის ინფორმაციის მიმოცვლისთვის სხვადასხვა ტექნოლოგია გამოიყენებოდა, რომელიც ეპოქის ტექნიკურ შესაძლებლობებზე იყო დამოკიდებული. თავდაპირველად ეს იყო სიგნალებით, როგორცაა დროშებით, სინათლის სიგნალებითა და მორზეს ანბანით გადაცემული შეტყობინებები. მოგვიანებით, მე-20 საუკუნის დასაწყისში, სამხედრო ქვედანაყოფებში ფართოდ დაიწერა ტელეგრაფი და ფიქსირებული ტელეფონი, რამაც მნიშვნელოვანი ნაბიჯი გადადგა ტაქტიკური კომუნიკაციის მიმართულებით. მეორე მსოფლიო ომისა და ცივი ომის პერიოდში უმთავრეს როლს ასრულებდა ანალოგური რადიოკავშირი, რომელიც საშუალებას აძლევდა სამხედროებს უფრო სწრაფად გადაეცათ ინფორმაცია, თუმცა დაცულობისა და საიმედოობის მხრივ ეს სისტემები სუსტი იყო. ინფორმაციის ნაწილი კვლავ ფიზიკური გზით გადაჰქონდათ (დისკებით, ქაღალდით ან სპეციალური კურიერებით), რაც დიდ დროს მოითხოვდა და დაკარგვის და დაზიანების რისკებს ზრდიდა.

თანამედროვე ეპოქაში, ტექნოლოგიური პროგრესის შედეგად, სამხედრო საინფორმაციო არქიტექტურა რადიკალურად შეიცვალა. ციფრული რადიოკავშირი და Software Defined Radio (SDR) სისტემები უზრუნველყოფს მრავალარხიან, დაშიფრულ და მოქნილ კომუნიკაციას, რომელიც თითქმის შეუძლებელია, რომ მტრის მიერ იქნას აღმოჩენილი. სატელიტური არხები (SATCOM) ქმნის გლობალურ ქსელს და საშუალებას აძლევს ჯარისკაცს ნებისმიერი ადგილიდან დაუკავშირდეს შტაბს. თუ ადრე ინფორმაციის ნაკადი ძირითადად ცენტრალიზებულ შტაბზე იყო დამოკიდებული, დღეს გავრცელებულია დეცენტრალიზებული, ქსელურ მოდელზე დაფუძნებული არქიტექტურა, სადაც თითოეულ ქვედანაყოფს შეუძლია მიიღოს და გადასცეს მონაცემები რეალურ დროში.

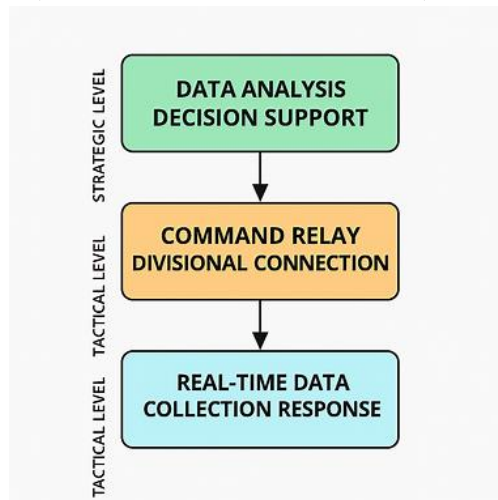
გარდა ამისა, სამხედრო კომუნიკაცია აღარ შემოიფარგლება მხოლოდ ხმოვანი შეტყობინებებით. თანამედროვე სისტემები აერთიანებს ვიდეოს, სურათებს, სენსორების მონაცემებსა

და დრონიდან მიღებულ ინფორმაციას. მობილური ტერმინალები და ტაბლეტები უშუალოდ ჯარისკაცებს აძლევს ბრძოლის ველზე გადაწყვეტილების მისაღებად საჭირო ინფორმაციას. ინტეგრირებულია IoT და სენსორული ქსელები, რომლებიც ავტომატურად აგროვებენ მონაცემებს გარემოს, ტექნიკისა და ჯარისკაცების მდგომარეობის შესახებ.

ძველი არქიტექტურისთვის დამახასიათებელი ნელი და დაუცველი კავშირი შეიცვალა სწრაფი, უსაფრთხო ქსელებით რაც უზრუნველყოფს მოქნილ და დაცულ კომუნიკაციას, რაც სამხედრო ოპერაციებისთვის უმნიშვნელოვანესია.

საინფორმაციო-ტექნოლოგიურ სისტემების არქიტექტურაში გამოყოფენ შრეობრივ და ტექნოლოგიურ სტრუქტურას.

შრეობრივი არქიტექტურა იყოფა შრეობრივ დონეებად და უზრუნველყოფს ეფექტურ მართვას, ოპტიმალურ რეაგირებას და სტრატეგიულ გადაწყვეტილებებს. შრეობრივი არქიტექტურის თითოეული დონე ემსახურება კონკრეტულ მიზანს:



სურ.1. შრეობრივი არქიტექტურა. ნაჩვენებია სტრატეგიული, ოპერატიული და ტაქტიკური დონეები, რომლებიც ერთმანეთთან დაკავშირებულია მონაცემთა ნაკადით

1. სტრატეგიული დონე, რომელიც მოიცავს:

მონაცემთა ანალიზის დონეს: გამოიყენება დიდი მოცულობის მონაცემების შესასწავლად, ტენდენციების გამოსავლენად და პროგნოზირების მოდელების შესაქმნელად.

გადაწყვეტილების მხარდაჭერა: BI (Business Intelligence) სისტემები, ML მოდელები და ანალიტიკური პლატფორმები უზრუნველყოფენ ოპტიმალური გადაწყვეტილებების მიღებაში.

დასაყრდენი ინსტრუმენტები: მონაცემთა საწყობები (Data Warehouses), OLAP, AI/ML მოდულები.

2. ოპერატიული დონე გამოიყენება ბრძანების ცენტრებისა და ქვედანაყოფების კოორდინაციისთვის. იგი მოიცავს:

კავშირის ქვედანაყოფებთან: უზრუნველყოფს უწყვეტ კომუნიკაციას სხვადასხვა ოპერატიულ ერთეულებს შორის.

ტექნოლოგიურ მხარდაჭერას: API-ები, მიკროსერვისები, სიგნალის გადაცემის პროტოკოლები (მაგ. MQTT, AMQP).

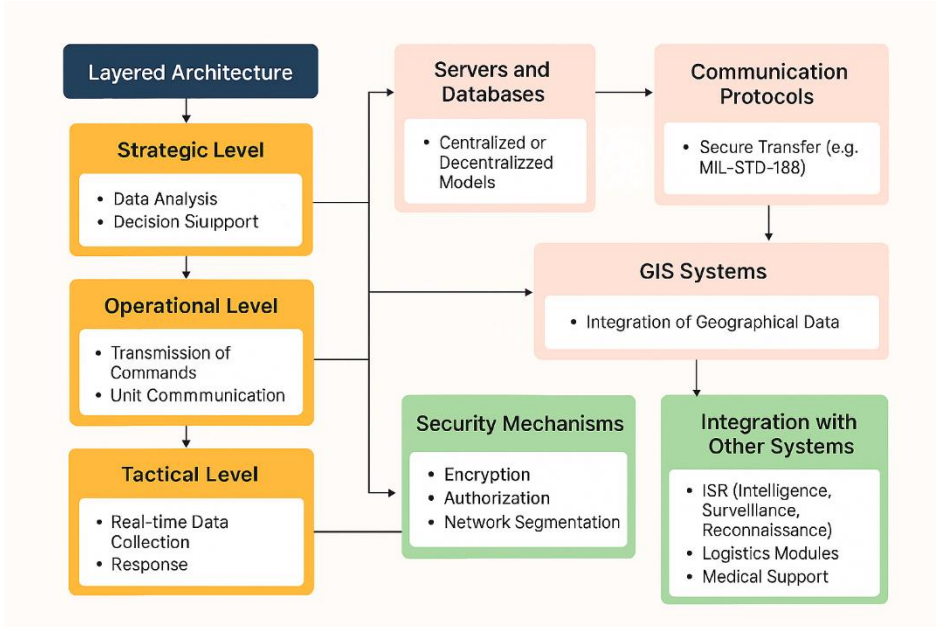
3. ტაქტიკური დონე, გამოიყენება მონაცემების შეგროვებისთვის: სენსორები, IoT მოწყობილობები და edge computing პლატფორმები უზრუნველყოფენ სწრაფ მონაცემთა მიღებას.

რეაგირება: ავტომატიზებული ალგორითმები, ალერტების სისტემა და ოპერატიული ინტერფეისები რეაგირებენ კრიტიკულ ცვლილებებზე.

მხარდაჭერა: GIS ინტეგრაცია, ვიდეო მონიტორინგი, დრონების მონაცემები.

ტექნოლოგიური არქიტექტურის მოიცავს:

1. სერვერებს და მონაცემთა ბაზებს, სადაც ხდება ცენტრალიზებული მოდელის სტრუქტურით მონაცემების შენახვა ერთიან მონაცემთა ცენტრში, რაც ამარტივებს მართვას და უსაფრთხოების კონტროლს.



სურ.2. ტექნოლოგიური სტრუქტურის დიაგრამა, სადაც წარმოდგენილია სერვერები, მონაცემთა ბაზები, GIS სისტემები, კომუნიკაციის პროტოკოლები და უსაფრთხოების მექანიზმები.

2. დეცენტრალიზებული მოდელი, რომელიც მონაცემებს ანაწილებს სხვადასხვა ლოკაციებზე, რაც ზრდის სისტემის გამძლეობას და რეაგირების სიჩქარეს.

აღნიშნულ არქიტექტურებში გამოიყენება შემდეგი ტექნოლოგიები: PostgreSQL, MongoDB, Cassandra, Kubernetes, Docker. და კომუნიკაციის პროტოკოლები, როგორებიცაა TLS/SSL, VPN, და სამხედრო სტანდარტები (მაგ. MIL-STD-188). ასევე UDP-დაფუძნებული პროტოკოლები რეალურ დროში კომუნიკაციისთვის. GIS სისტემები გამოიყენება რუკების ვიზუალიზაციისთვის, ობიექტების ლოკაციის განსაზღვრისთვის და ოპერატიული დაგეგმვისთვის, რომლის ძირითადი ფუნქციაა ტოპოგრაფიული ანალიზი, მარშრუტების დაგეგმვა, რისკების ზონირება.

უსაფრთხოების მექანიზმები ერთერთ მნიშვნელოვან ასპექტს წარმოადგენს აღნიშნულ არქიტექტურებში. გადაცემა ხორციელდება შუფრაციის ალგორითმებით AES-256, RSA და ECC ალგორითმებით. ასევე იყენებს ავტორიზაცია და ავთენტიფიკაციის მრავალფაქტორიან არქიტექტურას. ქსელურ სეგმენტაციას: VLAN-ები, Zero Trust არქიტექტურა, firewall-ები და intrusion detection სისტემები (IDS/IPS) და ლოგირება და მონიტორინგის სისტემებს, SIEM სისტემები (მაგ. Splunk, ELK Stack) უსაფრთხოების ინციდენტების დროული გამოვლენისთვის.

სისტემის არქიტექტურა, რომელიც ეფუძნება შერეობრივ მოდელს და ტექნოლოგიურ სტრუქტურას, წარმოადგენს ინტეგრირებულ და მოქნილ ჩარჩოს, რომელიც სრულად პასუხობს თანამედროვე ოპერაციული და სტრატეგიული მოთხოვნებს. მისი მოქნილობა,

ინტეგრირებულობა და რეალურ დროში რეაგირების უნარი ქმნის საფუძველს წარმატებული და ეფექტური ფუნქციონირებისთვის ნებისმიერ გარემოში.

სამხედრო საინფორმაციო სისტემების ძირითადი კომპონენტები. სამხედრო საინფორმაციო სისტემები აგებულია რამდენიმე კომპონენტზე, რომლებიც მთლიანობაში უზრუნველყოფენ ინფორმაციის შეგროვებას, გადამუშავებას, მიწოდებასა და გამოყენებას. ქვემოთ წარმოდგენილია ყველა მნიშვნელოვანი კომპონენტი, ფუნქციები, ტექნოლოგიური საფუძველი, რომლებიც აუცილებელია მათი ეფექტური მიმუშავებისთვის.

სამხედრო საინფორმაციო სისტემები აერთიანებს საველე და განვითარების საბრძოლო ავტომატიზაციის სისტემებსა და კომუნიკაციებს, რათა ფუნქციურად დააკავშიროს სტრატეგიული, ოპერატიული და ტაქტიკური შტაბები. სურათი 2 ასახავს სტრატეგიული, ოპერატიული და ტაქტიკური არქიტექტურების ურთიერთკავშირს, რომელიც აერთიანებს მრავალგანაწილებულ ელემენტს ინტეგრირებულ, ურთიერთთავსებად და თანმიმდევრულ ქსელში.

საკომუნიკაციო არხები- საკომუნიკაციო არხები სამხედრო სისტემების ქვაკუთხედია ისინი უზრუნველყოფენ მონაცემთა, ბრძანებების და სიტუაციური მოხსენებების კომპონენტების ერთობლივად გადაცემას. თანამედროვე გარემო მოიცავს:

ტრადიციულ და ციფრულ რადიოს (FM/AM, VHF/UHF, tactical SDR) - მიერთებულია frequency-hopping, ადაპტიური მოდულაცია და end-to-end დამიფვრა;

სატელიტური კომუნიკაციები (SATCOM) უზრუნველყოფს გლობალური პოზიციონირების სისტემებს, მაღალი სისწრაფის და დაბალი დაყოვნების მონაცემთა გადაცემას.

IP-ზე დაფუძნებული ქსელები (ბრძოლის ველის LTE/5G ტაქტიკური ქსელები) - შესაძლებელი ხდება მაღალი მოცულობის მონაცემთა (ვიდეო სტრიმები) მიწოდება და QoS კონტროლი;

ოპტიკური და ბოჭკოვანი კავშირები, რომელიც უზრუნველყოფს მაღალ გამტარუნარიანობას.

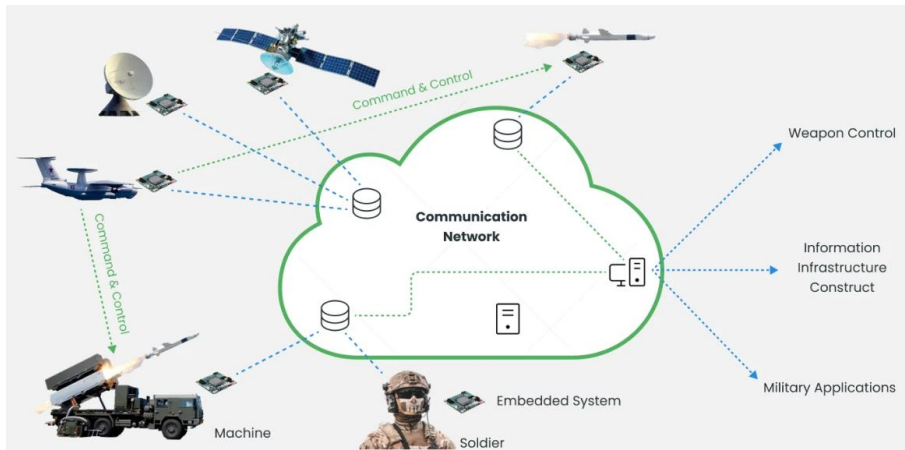
თანამედროვე სამხედრო საინფორმაციო სისტემების განვითარება მჭიდროდ არის დაკავშირებული თანამედროვე ტექნოლოგიებთან, რომლებიც აუმჯობესებენ ინფორმაციის შეგროვებას, ანალიზს და გადაცემას. ხელოვნური ინტელექტი გამოიყენება მონაცემთა სწრაფად დამუშავებისა და ანალიზისთვის. AI-ს მეშვეობით სამხედრო სისტემა შეუძლია:

- ცალკეული საფრთხეების იდენტიფიკაცია და პრიორიტეტიზაცია,
- ოპერატიული გადაწყვეტილებების მხარდაჭერა რეალურ დროში,
- სცენარების სიმულაცია და ოპტიმალური ქმედების გზების რეკომენდაცია.

IoT-ს საშუალებით საბრძოლო ველზე სხვადასხვა სენსორი, კამერა და მოწყობილობა უკავშირდება ერთმანეთს. ეს ქმნის ქსელს, რომელიც აკვირდება ჯარისკაცების, ტექნიკის და გარემოს მდგომარეობას, ავტომატურად აგროვებს მონაცემებს რეალურ დროში, ზრდის ბრძოლის ველის შესახებ ცნობიერებას და ოპერაციული გადაწყვეტილებების ეფექტურობას.

სენსორული ქსელები უზრუნველყოფენ მუდმივ მონიტორინგს, საზღვრების კონტროლსა და მოწინააღმდეგის გადაადგილების გამოვლენას. ისინი ქმნიან მრავალშრიან მონაცემთა ნაკადს, რომელიც ინტეგრირდება მონაცემთა მართვის სისტემებთან, უზრუნველყოფს დროულ რეაგირებას საფრთხეებზე და ოპერაციების უკეთესი კოორდინაციას.

ეს სამი ინოვაცია AI, IoT და სენსორული ქსელები ქმნის საფუძველს სწრაფი, ეფექტური და უსაფრთხო გადაწყვეტილებების მიღებისთვის თანამედროვე საბრძოლო გარემოში.



სურ.3. თანამედროვე სამხედრო კომუნიკაცია

თანამედროვე სამხედრო სტრატეგიაში ავტონომიურ სისტემებს განსაკუთრებული ადგილი უჭირავთ. ისინი მნიშვნელოვნად ამცირებენ ადამიანური რესურსის რისკებს და ზრდიან ოპერაციების ეფექტიანობას.

დრონები გამოიყენება როგორც სადაზვერვო, ასევე შეტევით ოპერაციებში დღესდღეობით ძალიან მნიშვნელოვან ასპექტს წარმოადგენს. სადაზვერვო დრონები აგროვებენ ინფორმაციას ბრძოლის ველზე, აკვირდებიან მტრის გადაადგილებას და აფიქსირებენ ცვლილებებს გარემოში. შეტევითი დრონები აღჭურვილია საბრძოლო საშუალებებით და შეიძლება გამოიყენონ ზუსტი დარტყმებისთვის მიზანზე. დრონების უპირატესობაა მაღალი მანევრირება, დაბალი ხარჯი და რისკის შემცირება სამხედრო პერსონალისთვის.

სამხედრო რობოტები გამოიყენება როგორც ლოჯისტიკურ, ასევე საბრძოლო ამოცანებში. ლოჯისტიკური რობოტები ამარაგებენ ქვედანაყოფებს საბრძოლო მასალით, საკვებით ან მედიკამენტებით რთულ გარემოში. საბრძოლო რობოტები აღჭურვილია სენსორებითა და იარაღით, რაც საშუალებას იძლევა საშიშ ზონებში ადამიანების გარეშე განხორციელდეს ოპერაციები. რობოტიკას შეუძლია ასევე განაღმვისა და ინფრასტრუქტურის აღდგენის ამოცანების შესრულება.

ავტონომიური სისტემების ინტეგრაცია სამხედრო ოპერაციებში ზრდის ოპერატიულ მოქნილობას, ამცირებს ადამიანური დანაკარგების ალბათობას და იძლევა რეალურ დროში ინფორმაციის უფრო ფართო სპექტრის შეგროვების საშუალებას.

კიბერუსაფრთხოება და მდგრადობა სამხედრო IT სისტემებში ერთ-ერთი ყველაზე კრიტიკული მიმართულებაა. ტექნოლოგიების განვითარებასთან ერთად იზრდება საფრთხეებიც, რომლებიც მიზნად ისახავს როგორც მონაცემთა მოპარვას, ისე ოპერაციების შეფერხებას. სამხედრო ინფრასტრუქტურა დაუცველია კიბერშეტევების, მავნე პროგრამების, ფიშინგის და შიდა წყაროებიდან ინფორმაციის გაჟონვის მიმართ.

დაცვის მიზნით გამოიყენება მრავალფენიანი უსაფრთხოების მიდგომა. საკომუნიკაციო არხები სრულად იზიფრება, სამხედრო პერსონალი გადის მრავალფაქტორულ ავთენტიფიკაციას, ქსელები ნაწილდება სეგმენტებად და თითოეულ მათგანს იცავს სპეციალური firewall-ები. გარდა ამისა, არსებობს წინასწარ შემუშავებული გეგმები, რომლებიც განსაზღვრავს როგორ უნდა მოხდეს რეაგირება კიბერინციდენტზე და სისტემების სწრაფი აღდგენა.

ბოლო წლებში დაფიქსირდა არაერთი მაგალითი, რაც ადასტურებს ამ საკითხის მნიშვნელობას. 2010 წელს Stuxnet-მა ირანის ბირთვული ინფრასტრუქტურა სერიოზულად

დააზიანა. 2017 წლის NotPetya-ს მასშტაბურმა შეტევამ სამხედრო ლოჯისტიკის სისტემებიც შეაფერხა. NATO-ს და ევროპული ქვეყნების თავდაცვის უწყებები არაერთხელ გამხდარან DDOS და ფიშინგ შეტევების სამიზნე.

ამიტომ, თანამედროვე სამხედრო IT სისტემების უსაფრთხოება ეფუძნება არა მხოლოდ ტექნოლოგიურ გადაწყვეტილებებს, არამედ მუდმივ მონიტორინგს, პერსონალის გადამზადებას და სისტემების მდგრადობის უზრუნველყოფას.

აპლიკაციები სამხედრო საინფორმაციო სისტემებში მნიშვნელოვან კონკრეტულ უპირატესობას აძლევს სამხედრო ძალებს და მათ განსაკუთრებული ადგილი უჭირავს ბრძოლის ველის შესახებ ინფორმირებულობასა და რეალურ დროში გადაწყვეტილების მიღებისას. თანამედროვე სისტემები აგროვებს ინფორმაციას სხვადასხვა წყაროდან სადაზვერვო დრონების საშუალებით, დაფარული და ადგილობრივი სენსორებიდან, სატელიტური მონაცემებიდან, შეიარაღებული ქვედანაყოფების რეპორტებიდან, რის შედეგადაც წარმოიქმნება ყოვლისმომცველი, განახლებადი სურათი ბრძოლის ველზე. ეს სიტუაციური ცნობიერება საშუალებას აძლევს ხელმძღვანელობას სწრაფად განსაზღვროს მოწინააღმდეგის პოზიციები, საფრთხეები და ხელმისაწვდომი რესურსები.

აპლიკაციები მოიცავს ასევე კონკრეტულ ოპერაციულ სფეროებს: სადაზვერვო, დაკვირვების და გადაცემა (ISR) ფუნქციებს, სადაზვერვო-ოპერატიულ ინტეგრაციას, მართვისა და კონტროლის მექანიზმებს, ლოჯისტიკური გადაწყვეტილებების ავტომატიზაციას და სამედიცინო ევაკუაციის მიმოხილვას რეალურ დროში. გარდა ოპერაციული ეფექტურობისა, ასეთი სისტემები ამცირებენ შეცდომის ალბათობასა და ოპერაციულ ხარჯებს, რადგან გადაწყვეტილებები მიღება დამოკიდებულია განახლებულ ინფორმაციაზე.

თუმცა რეალურ დროში გადაწყვეტილების მიღების სისტემებთან ერთად მნიშვნელოვან პრობლემებსაც ვხვდებით. ესენია, მონაცემების სიზუსტე და სანდოობა, საკომუნიკაციო დაყოვნება და კიბერუსაფრთხოების რისკები და სხვა. ამიტომ ეფექტური აპლიკაცია არა მხოლოდ ტექნიკურ გადაწყვეტებზე უნდა იყოს აგებული, არამედ მოითხოვს ადამიანის გაძლიერებულ კონტროლს და მკაფიო პასუხისმგებლობის მექანიზმებს.

სამხედრო საინფორმაციო-ტექნოლოგიური სისტემების განვითარებას თან ახლავს არაერთი სირთულე. მთავარი გამოწვევაა კიბერუსაფრთხოება, მოწინააღმდეგე ცდილობს მონაცემთა მოპარვას, სისტემების პარალიზებას ან დეზინფორმაციის გავრცელებას, რაც პირდაპირ მოქმედებს ბრძოლის ველის მართვის ეფექტურობაზე. სირთულეს წარმოადგენს ასევე სხვადასხვა სისტემის ინტეგრაცია. ძველი პლატფორმები ხშირად შეუსაბამოა თანამედროვე ციფრულ არქიტექტურებთან, რის გამოც ინფორმაცია გვიანდება ან იკარგება. მნიშვნელოვანია ადამიანური ფაქტორიც თანამედროვე ტექნოლოგიებთან მუშაობა საჭიროებს მაღალკვალიფიციურ კადრებს, ხოლო მათი მუდმივი გადამზადება დიდ რესურსებს მოითხოვს.

ამიტომ მნიშვნელოვანია პირველ რიგში, ერთიანი სტანდარტების შემუშავება, რათა სხვადასხვა ქვედანაყოფებს შეუფერხებლად შეძლოს მონაცემების გაზიარება. პარალელურად, აუცილებელია კიბერუსაფრთხოების მექანიზმების გაძლიერება მონაცემთა შიფრაცია, ქსელური მონიტორინგი და კიბერშეტევების პრევენციის სისტემები და სპეციალისტების რეგულარული გადამზადება, რადგან ტექნოლოგიები სწრაფად ვითარდება და მათთან ადაპტაცია მუდმივად საჭიროა.

დასკვნა

სამხედრო IT სისტემების განვითარება მჭიდროდ იქნება დაკავშირებული ხელოვნური ინტელექტის, სენსორული ქსელების და ავტონომიური სისტემების ინტეგრაციასთან.

ბრძოლის ველზე ინფორმაციის შეგროვება და ანალიზი, რომელიც ხორციელდება რეალურ დროში, საშუალებას იძლევა არა მხოლოდ სწრაფად მოხდეს გადაწყვეტილებების მიღება, არამედ წინასწარ მოხდეს საფრთხეების პროგნოზირება.

AI, IoT და სენსორული ქსელები ქმნიან ინტელექტუალურ გარემოს, რომელიც საშუალებას აძლევს სამხედრო ხელმძღვანელობას მიიღოს ზუსტი და დროული გადაწყვეტილებები. ამ სისტემების წარმატებული დანერგვა მოითხოვს ტექნოლოგიურ ინვესტიციებს, კიბერუსაფრთხოების გაძლიერებას და ადამიანური რესურსების მუდმივ გადამზადებას. მხოლოდ ასე იქნება შესაძლებელი თანამედროვე საფრთხეებთან ეფექტური გამკლავება და ეროვნული უსაფრთხოების მდგრადი უზრუნველყოფა.

გამოყენებული ლიტერატურა:

1. Bistrion, M., & Piotrowski, Z. Artificial Intelligence Applications in Military Systems and Their Influence on Sense of Security of Citizens. *Electronics*, 10(7). 2021.
2. IEEE Communications Society. The Internet of Military Defense Things (IoMDT): State-of-the-Art and Future Directions. *IEEE Internet of Things Magazine*. 2023.
3. IEEE Xplore. Military IoT from Management to Perception: Challenges and Opportunities. 2024.
4. UNIDIR. Artificial Intelligence in the Military Domain and its Implications for International Peace and Security. 2025.
5. Journal of Global Security Studies. Digital Targeting: Artificial Intelligence, Data, and Military Decision-Making. 2024.
6. Quest Journals – JRHSS. AI in Defense: Global Perspectives on Strategic Integration and Future Challenges. 2025.

Information and Technology Systems for Military Unit Management

Nani Arabuli¹, Avtandil Migineishvili², Mikheil Gognadze³

¹Georgian Technical University

²New University

³Commander of the 3rd Infantry Brigade of the Western Command of the Georgian Defense Forces

Summary

The success of modern military operations largely depends on the rapid collection and analysis of information. This article examines the evolution, architecture, and key components of military information and technology systems. The Network-Centric Warfare model, along with AI, IoT, and sensor networks, forms a digital framework of the battlefield that enables real-time decision-making. Strategic, operational, and tactical levels are integrated through a technological infrastructure that includes databases, GIS systems, encryption algorithms, and cybersecurity mechanisms. Autonomous systems, drones, and military robots enhance operational flexibility and reduce human risks. Applications with ISR functions and control mechanisms strengthen situational awareness. The article also discusses the existing challenges and provides recommendations for their future mitigation.

Keywords: Military Information Systems; Network-Centric Warfare; Artificial Intelligence (AI); Internet of Things (IoT) Technology; Sensor Networks.

Synthetic Data Generation, Technological Aspects and Challenges

David Satseradze, Gocha Zedginidze

Georgian Technical University, Georgia, Tbilisi

dsatseradze@gtu.ge, g.zedginidze@gtu.ge

Abstract

The increasing complexity of machine learning models and stricter data protection regulations are driving a growing demand for large and diverse datasets. Synthetic data, artificially generated by algorithms, represents a powerful solution to this problem and are becoming an essential tool in modern data science and artificial intelligence. Their use addresses challenges related to data scarcity, privacy protection, and ensuring sample balance. This paper provides an overview of modern synthetic data generation techniques, their applications in artificial intelligence and computer science, and discusses key challenges and directions for future research.

Keywords: synthetic data, artificial intelligence, neural networks, GAN, VAE.

1. Introduction

In the era of rapid advancements in artificial intelligence (AI) and machine learning (ML), access to high-quality data is becoming a critical success factor. However, real data are often constrained by legal restrictions (GDPR, HIPAA) due to privacy concerns, high collection costs, and ethical considerations. The scarcity of high-quality data is becoming a bottleneck in machine learning development, as the use of real data containing personal information entails risks of leaks and privacy violations.

Synthetic data are not merely "random noise," but rather artificially created data generated by algorithms that preserve the statistical properties and patterns of the original real-world dataset, without directly containing confidential records or sensitive information. Such data can overcome the aforementioned barriers, accelerating the development and testing of machine learning models.

Synthetic data are widely used to train models where real data is scarce, to test systems, and to generate new insights. Recent studies indicate that synthetic data can significantly reduce software development costs and accelerate data-driven research and innovation.

The objective of this paper is to provide an overview of modern synthetic data generation methods, discuss key areas of application, and identify promising directions for further research.

2. Main part

Synthetic data refer to artificially created information generated through algorithms, models, or simulators that replicate the statistical characteristics of real datasets. Unlike anonymized data, synthetic data do not contain the original records, making it less susceptible to information leakage.

There are several types of synthetic data:

- **Tabular data:** Structured records that mimic databases, financial statements, medical records, etc.
- **Images:** Visual data generated by neural networks for tasks such as object or face recognition.
- **Text data:** Synthetic documents, messages, reviews generated using language models.
- **Audio and video:** Data used to train speech, gesture, and emotion recognition systems.

Classification may also account for the degree of realism, the level of noise (records in the data set that do not fit into one or another classification concept), the presence of labels, and other parameters.

Research on synthetic data has been actively developing since the early 2010s. Literature reviews indicate that statistical models, deep learning models, and hybrid approaches have been predominant paradigms among synthetic data generation (SDG) over the past decade [1]. Furthermore, research has focused on the use of machine learning for generating synthetic data, emphasizing the role of generative adversarial networks (GANs) and variation autoencoders (VAEs) [2].

According to published studies, synthetic data in healthcare is generated primarily using deep learning (72.6% of studies) [3], followed by statistical methods (15.1%) [4]. Recent papers [5] presented on arXiv.org discuss the application of synthetic data in large language models (LLMs), including their roles in pretraining and fine-tuning. Furthermore, reviews highlight the ethical implications and potential biases in synthetic data.

Existing approaches to synthetic data generation can be divided into the following groups:

1. Simple methods (Baseline):

- **Rule-based generation.** Creating data based on predefined logical rules (e.g., generating simple 3D models).
- **Sampling from parametric distributions.** We assume that the data follows a specific distribution (e.g., Gaussian) and generate data accordingly.

2. Generative neural network models (used in machine learning) - model complex data distributions using neural networks :

- **Generative adversarial networks (Generative Adversarial GANs (general adversarial networks)** consist of a generator and a discriminator competing with each other. The generator creates "fake" data, and the discriminator learns to distinguish it from real data. GANs are effective for generating realistic images, audio, and tabular data, but are difficult to train (instability, mode collapse) and do not always guarantee coverage of the entire distribution. Examples:
 - ❖ DCGAN , StyleGAN (for images), WGAN , CTGAN / TVAE (for tabular data).
- **Variational autoencoders (Variational autoencoders (VAEs)** are trained by compressing and decompressing data, creating a latent representation from which new examples can be generated. The encoder maps data to a latent space (latent variables), and the decoder reconstructs data from this space. Generation involves sampling from the latent space and passing it through the decoder. They learn more reliably than GANs and provide probabilistic interpretation, but sometimes produce less detailed examples than GANs.
- **Diffusion models** are a modern class of generative models that demonstrate high-quality generation of images and other types of data by approximating an inverse stochastic process. Specifically, the first stage is "noising" the data (the forward process) and the subsequent "cleaning" of the noise to generate new data (the reverse process) . They are characterized by stability and competitive quality compared to GANs. Examples:
 - ❖ DALL-E, Stable Diffusion (for images), their adaptations for tabular and time series.
- **Autoregressive models (Autoregressive Models** (for text or sequences) predict the next element based on previous ones, meaning data is generated one element at a time, with each subsequent element dependent on the previous ones. This is well suited for text, code, and time series. It provides high quality for tasks involving sequences.

3. **Statistical and simulation methods** focus on formal modeling of known structures and laws. Classical approaches include the use of distributions, correlation models, and simulators. Examples include Monte Carlo and Gaussian models. Mixture Regression models are simple to implement but limited in their ability to reproduce complex relationships:
 - **Parametric statistical models** (multivariate normal, distribution mixtures, etc.) are simple and interpretable, but are inadequate for high-dimensional complex data with nonlinear dependencies.
 - **Simulation models** — a domain model (physics, transportation, medicine) that generates data according to specified rules; they provide precise control over scenarios and are suitable for generating rare/extreme cases.
 - **Agent-based and rule-based simulators** are used to model interacting agents (e.g. traffic, social systems).
4. **Hybrid and specialized approaches** are combinations of the above methods: a simulator plus a neural network to increase realism; statistical post-processing of synthetic samples; transfer learning to adapt the generator to the specifics of the data.
5. **Manual generation and simulators.** In some cases, synthetic data are created manually or using specialized simulators, for example, to model user behavior, network traffic, or biological processes.

In addition to real data, an increasing number of researchers are actively employing synthetic data across a wide range of fields:

- **Computer vision:** generation of images and annotations (semantic masks, bounding boxes) for detection and segmentation tasks; simulators (virtual environments) are widely used to create large-scale datasets.
- **Medicine and healthcare:** Generating synthetic electronic medical records and medical images helps protect patient privacy and increase training datasets.
- **Finance :** Modeling transactions and fraudulent schemes to train fraud detection systems.
- **AI model training:** Allows you to train models without the risk of personal data leakage, especially in education.
- **Systems testing:** used to check the functionality of software, databases, interfaces.
- **Dataset enrichment:** helps combat class imbalance by creating additional examples of rare categories.
- **Cybersecurity systems development:** used to simulate attacks, attacker behavior and testing defense mechanisms, as well as ISD (*Intrusion training Detection System*) / IPS (*Intrusion Prevention System*).
- **Transport and robotics:** simulation of motion scenarios for autonomous systems.
- **Federated learning and confidential computing:** Synthetic data can be used to pre-train models without access to real data.

Most authors believe that using synthetic data gives them number of advantages, namely:

- **Confidentiality:** The absence of real records eliminates the risk of personal information leakage.
- **Scalability:** data of any volume and complexity can be generated.
- **Flexibility:** it is possible to model hypothetical scenarios, rare events, or extreme conditions.

- **Reduced costs:** Reduces the need for expensive real-world data collection and labeling. A critical question when using synthetic data is how to measure its quality, i.e., how accurately it simulates real data. It is clear that quality cannot be measured by a single metric, as it has multiple dimensions. A review of the existing literature suggests the following metrics for answering this question:
1. **Sample quality metrics (fidelity / realism).** How similar are synthetic data to real data?
 - Statistical discrepancies (e.g., **Distance Correlation** , KS-test).
 - Visual assessment (for images).
 - Classification reports (**Classification Report**) — a model trained on synthetic data should show similar metrics on real test data. The following are used:
 - ❖ For images: **FID (Fréchet Inception Distance)**, **IS (Inception Score)**.
 - ❖ For tabular data: comparison of feature distributions (KS test, MMD) and analysis of correlation structures.
 2. **Utility metrics.** How well does synthetic data solve the target problem?
 - Model-in-model (**Train on Synthetic, Test on Real - TSTR**). Models' **accuracy** (measures the proportion of correct model predictions among all predictions, used when classes in the data are balanced) and/or **F1-score** (combines precision and recall , providing a more comprehensive assessment of model performance, used when there is class imbalance or different error costs) trained on synthetic data are compared with a model trained on real data.
 - **Downstream task performance:** training a model on synthetic data and testing it on real data (**Accuracy**, **AUC**, **F1**, etc.). This is one of the most practical metrics— synthetic data are useful, if models trained on it perform well on real data.
 3. **Privacy and security metrics.** How secure is the underlying data ?
 - **Differential Privacy (DP)** is a formal guarantee of privacy during generation. It includes mechanisms for noise injection and DP training of generators.
 - **Membership inference/disclosure risk** — practical tests of the risk of recovering or recognizing specific records from synthetic datasets.
 4. **Diversity and coverage metrics:**
 - Assessing how well synthetic data covers the real data space (precision / recall for generative models), mode identification collapse.

It should be noted that, in practice, most specialists combine several types of metrics: **Fidelity + Utility + Privacy**.

Despite the great advantages, synthetic data still has number of limitations, namely:

- **Lack of realism:** especially when generating complex dependencies or rare events.
- **Risk of information leakage:** If models are configured incorrectly, data close to the original may be generated.
- **Limited applicability:** Not all tasks allow the use of synthetic data without loss of quality.
- **Ethical aspects:** Potential for generating disinformation (**deepfakes**), amplification of bias (if the original data is biased, synthetic data will amplify this bias).
- **Legal aspects:** It is necessary to consider the potential consequences of using synthetic data, especially in medicine and law.

Generating synthetic data, especially using modern methods such as generative adversarial networks (GANs), diffusion models, or large language models (LLMs), requires substantial computational resources. The appropriate technology depends on the scale of the problem, the type of data (images, text, tabular data, time series), and the algorithms used. A key principle is that the problem determines the technology.

- **Simple data (tables, logical rules):** A computer with a powerful CPU and a large amount of RAM is required.
- **Images, audio, text (Medium) Scale):** Entry-level/mid-range GPU required .
- **Video, complex 3D scenes, large-scale projects (Large Scale):** Requires **powerful GPUs (often multiple)** and/or the use of cloud clusters.

Below are recommendations for hardware, software tools, and other aspects to consider when generating synthetic data.

Table. 1. Recommendations for hardware and software tools

Data type	Hardware requirements	Software	Example of a problem
Images	GPU (NVIDIA A100, RTX 3090), 32–64 GB RAM, 2 TB SSD +	PyTorch , Diffusers, StyleGAN	Generation medical MRI
Tabular data	CPU (16 cores), GPU (12 GB VRAM), 32 GB RAM	SDV, CTGAN, Synthcity	Synthetic financial records
Text	GPU (24 GB + VRAM), 64 GB RAM	Hugging Face Transformers	Generating Synthetic Texts for NLP
Time series	GPU (A100), 64 GB RAM, SSD 4 TB +	TimeGAN , PyTorch	Synthetic sensory data

3. Conclusions

Given the rapid evolution of AI, it is reasonable to assume that the future of synthetic data will be linked to number of areas, such as:

- **Improving generative models:** developing architectures that can reproduce complex dependencies and rare cases.
- **Quality assessment:** development of unified metrics to objectively assess the realism, usefulness, and privacy of synthetic data.
- **Standardization:** creating common protocols, formats and requirements for synthetic data.
- **Integration with Privacy-Preserving Machine Learning:** Synergy with federated learning, differential privacy, and other approaches.
- **Research into guaranteed coverage of rare events** - ensuring adequate representation of rare events through improved sampling strategies.
- **Automatic validation of synthetic kits** - automating validation pipelines to evaluate dataset suitability for specific tasks.
- **Integration of simulators with neural network generators** to obtain controlled and realistic data synthesis.
- **Ethical and regulatory aspects** – defining ethical and regulatory frameworks governing the use of synthetic data in sensitive domains such as healthcare and finance.

Reference:

- [1] André Bauer, "Comprehensive Exploration of Synthetic Data Generation: A Survey," 02 2024. Internet resurs: <https://arxiv.org/pdf/2401.02524>. [Accessed: 22/08/2025].
- [2] Yingzhou Lu, "Machine Learning for Synthetic Data Generation: A Review," JOURNAL OF LATEX CLASS FILES, VOL. 14, NO. 8, T, AUGUS 2021. Internet resources: <https://arxiv.org/pdf/2302.04062> v 8. [Accessed: 01/06/2025].
- [3] Vasileios C Pezoulas, "Synthetic data generation methods in healthcare: A review on open-source tools and methods," Comput Struct Biotechnol J. 23:2892–2910., 23 Jul 9 2024. Internet resources: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2001037024002393>. [Accessed: 23/06/2025].
- [4] Shuang Hao, "Synthetic Data in AI: Challenges, Applications, and Ethical Implications," 01 Jan 2024. Internet resources: <https://arxiv.org/html/2401.01629> v 1. [Accessed: 12/06/2025].
- [5] Lin Long, "On LLMs-Driven Synthetic Data Generation, Curation, and Evaluation: A Survey," 14 Jul 2024. Internet resources: <https://arxiv.org/pdf/2406.15126> v 1. [Accessed: 12/06/2025].

სინთეტიკური მონაცემების გენერაცია, ტექნოლოგიური ასპექტები და გამოწვევები

დავითი საცერაძე, გოჩა ზედგინიძე

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, თბილისი

dsatseradze@gtu.ge, g.zedginidze@gtu.ge

რეზიუმე

მანქანური სწავლების მოდელების მზარდი სირთულე და მონაცემთა დაცვის უფრო მკაცრი რეგულაციები ზრდის დიდი და მრავალფეროვანი მონაცემთა ნაკრებების მოთხოვნას. ალგორითმების მიერ ხელოვნურად გენერირებული სინთეზური მონაცემები წარმოადგენს ამ პრობლემის ძლიერ გადაწყვეტას და ხდება აუცილებელი ინსტრუმენტი თანამედროვე მონაცემთა მეცნიერებასა და ხელოვნურ ინტელექტში. მათი გამოყენება წყვეტს რეალური მონაცემების სიმწირესთან, კონფიდენციალურობის დაცვასთან და ნიმუშის ბალანსის უზრუნველყოფასთან დაკავშირებულ გამოწვევებს. ეს სტატია იძლევა თანამედროვე სინთეზური მონაცემების გენერირების ტექნიკის მიმოხილვას, მათ გამოყენებას ხელოვნურ ინტელექტსა და კომპიუტერულ მეცნიერებაში და განიხილავს ძირითად გამოწვევებსა და სამომავლო კვლევის მიმართულებებს.

საკვანძო სიტყვები: სინთეზური მონაცემები, ხელოვნური ინტელექტი, ნეირონული ქსელები, GAN,

ექსპერიმენტული მონაცემების დამუშავება არაწრფივი სისტემების იდენტიფიკაციისათვის MATLAB/Simulink გარემოში

ბესარიონ შანშიაშვილი, ირმა დავითაშვილი, ნინო მჭედლიშვილი

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

b.shanshiashvili@gtu.ge, i.davitashvili@gtu.ge, nino.mchedlishvili@gtu.ge

რეზიუმე

ნაშრომის მიზანია არაწრფივი დინამიკური სისტემების პარამეტრული იდენტიფიკაციის ამოცანის გადასაწყვეტად ექსპერიმენტალური მონაცემების დამუშავება, როდესაც საკვლევ ობიექტზე მოქმედებს ჰარმონიული სიგნალი ცვლადი სიხშირით. არაწრფივი დინამიკური სისტემების პარამეტრული იდენტიფიკაციის ამოცანის გადასაწყვეტად საჭიროა: ობიექტის გამოსასვლელზე დამყარებული რეჟიმში მიღებული იძულებითი რხევის ერთი ან რამდენიმე პერიოდის გამოყოფა ფურიეს კოეფიციენტების განსაზღვრისათვის, მათი შემდგომი გამოყენების მიზნით ობიექტის პარამეტრული იდენტიფიკაციისათვის. ზემოთ მოყვანილი მიზნის მისაღწევად გამოყენებულია კომპიუტერული მოდელირების სისტემა Matlab-ი და მასში ინტეგრირებული სტრუქტურული მოდელირების სისტემა Simulink-ი. შემუშავებულია პროგრამული კოდი პროცესის ავტომატიზაციისათვის, სტრუქტურული მოდელირების სქემები, გამოყენებულია ფურიეს კოეფიციენტების განსაზღვრის საშუალებები - fft-ფუნქცია და fft ბლოკი. შემუშავებული მეთოდიკა შემოწმებულია არაწრფივი დინამიკური სისტემის კონკრეტულ მაგალითზე.

საკვანძო სიტყვები: არაწრფივი სისტემები, პარამეტრული იდენტიფიკაცია, ფურიეს კოეფიციენტები, კომპიუტერული მოდელირების სისტემა Matlab/Simulink.

1. შესავალი

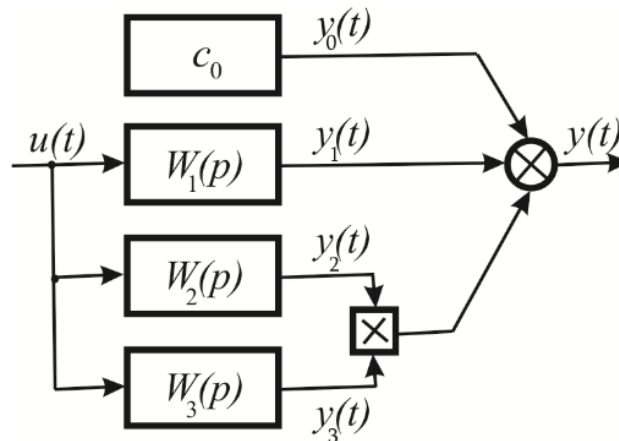
მართვის სისტემების შექმნის პირველ აუცილებელ ეტაპს წარმოადგენს ობიექტების მათემატიკური მოდელის აგება ექსპერიმენტალურ მონაცემების დამუშავების გზით, ანუ იდენტიფიკაციის ამოცანის გადაწყვეტა. ეს ეტაპი საშუალებას იძლევა გამოვლენილ იქნეს რეალური ობიექტის არსებითი თვისებები, რაც წარმოადგენს საფუძველს მართვის სისტემის შემდგომი დაპროექტებისა და ანალიზისთვის. ობიექტის ბუნებიდან გამომდინარე (წრფივი თუ არაწრფივი, დისკრეტული თუ უწყვეტი), გამოიყენება იდენტიფიკაციის სხვადასხვა მეთოდი. აპრიორული ინფორმაციის მოცულობისა და სისტემაზე მოქმედი სიგნალების დაკვირვებადობის მიხედვით ასხვავებენ იდენტიფიკაციის სხვადასხვა ამოცანებს, რომელთაგანაც მეტად მნიშვნელოვანია სტრუქტურული და პარამეტრული იდენტიფიკაციის ამოცანები.

სტატიაში წარმოდგენილია არაწრფივი დინამიკური სისტემების პარამეტრული იდენტიფიკაციის საკითხები, ექსპერიმენტალური მონაცემები მიღებულია აქტიური ექსპერიმენტის ჩატარებით და დამუშავებულია Matlab/Simulink სისტემით.

2. ძირითადი ნაწილი

არაწრფივი დინამიკური სისტემები შეიცავენ ჰამერშტეინისა და ვინერის მოდელების სხვადასხვა მოდიფიკაციებს. აღნიშნული მოდელები, თავის მხრივ, შედგება არაწრფივი

სტატიკური და წრფივი დინამიკური ელემენტების შეერთების სხვადასხვა კომბინაციისაგან. ნაშრომში განხილულია მოდელი, რომლის სტრუქტურული სქემა ნაჩვენებია ნახ. 1-ზე.



ნახ. 1

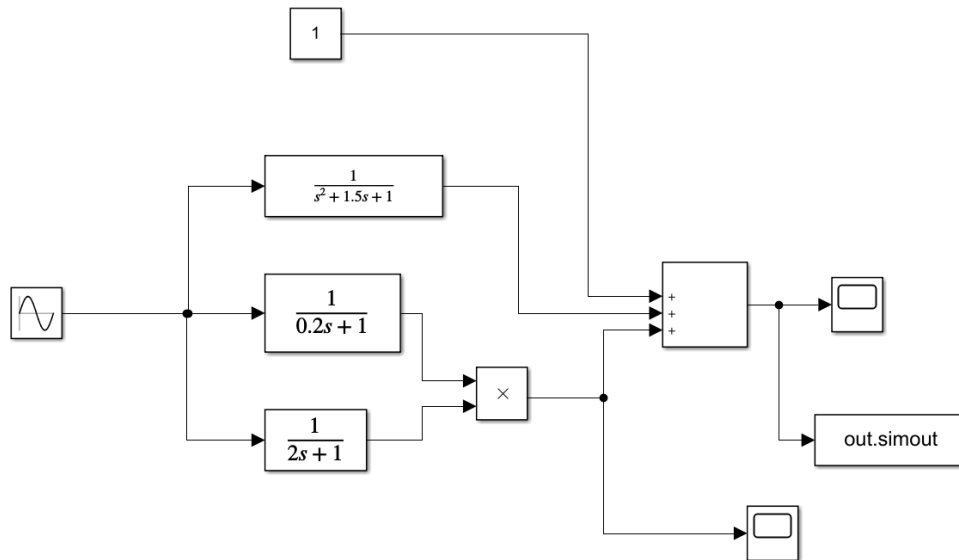
აქტიური იდენტიფიკაციის მეთოდებს შორის მნიშვნელოვანი ადგილი უკავია სიხშირულ მეთოდებს, როცა ობიექტზე მიეწოდება ჰარმონიული სიგნალი. როგორც ცნობილია, ამ დროს არაწრფივი სისტემის გამოსასვლელზე მიიღება პერიოდული, მაგრამ არაჰარმონიული სიგნალი.

რიგ ნაშრომებში დამუშავებული იქნა პარამეტრული იდენტიფიკაციის მეთოდები, რომლებშიც დინამიკური პარამეტრების შეფასება მიმდინარეობს სიხშირულ არეში საკვლევი სისტემის შემავალი ჰარმონიული სიგნალების დროს. ამ ნაშრომებში, როგორც ღია [1-2], ისე უკუკავშირანი სისტემებისათვის [3-5], გამოიყენება საკვლევი სისტემის გამოსასვლელზე დამყარებულ რეჟიმში მიღებული იძულებითი რხევის, რომელიც პერიოდულ ფუნქციას წარმოადგენს რიცხვითი ჰარმონიული ანალიზის შედეგად მიღებული ფურიეს კოეფიციენტების შეფასებები პარამეტრების განსაზღვრისათვის.

ზემოთ აღნიშნულიდან გამომდინარე შეიძლება ნაშრომში დასმული ამოცანის შემდეგ ეტაპებად დაყოფა: 1) საკვლევი ობიექტის გამოსასვლელზე პერიოდული სიგნალის გარდამავალი და დამყარებული რეჟიმების გამოყოფა, 2) დამყარებულ რეჟიმში ერთი ან რამდენიმე პერიოდის გამოყოფა, 3) ფურიეს კოეფიციენტების განსაზღვრა გამოყოფილ პერიოდებში და 4) მიღებული შედეგებით პარამეტრული იდენტიფიკაციის ამოცანის გადაწყვეტა, ანუ შესაბამისი პარამეტრების შეფასებების გამოთვლა და ადეკვატურობის შემოწმება.

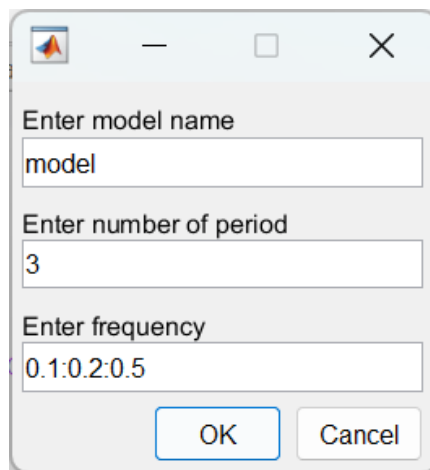
საკვლევი სისტემის გამოსასვლელზე მიღებული მოძრაობიდან, რომელიც შეიცავს როგორც გარდამავალ მდგენელს, ისე დამყარებულ რხევას, იძულებითი რხევის პერიოდის ან რამდენიმე პერიოდის გამოყოფისათვის სისტემა Matlab-ის ენაზე შეიქმნა პროგრამული კოდი. პროგრამის შესრულებით მიღებული მონაცემები მუშავდება კოდის მეორე ნაწილით და სისტემის სტრუქტურული მოდელირების გაფართოება Simulink-ის გამოყენებით. ამ ეტაპის მიზანია ფურიეს მწკრივის კოეფიციენტების განსაზღვრა, ამიტომ გამოიყენება კოდში fft-ფუნქცია, ხოლო Simulink მოდელში fft-ბლოკი.

პროგრამის შესამოწმებლად ჩავატარეთ არაწრფივი სისტემის კვლევა, რომლის სტრუქტურული სქემა ნაჩვენებია ნახ. 2-ზე.



ნახ. 2.

საკვლევი სისტემის შემავალი ზემოქმედება წარმოადგენს ჰარმონიულ სიგნალს, ფიქსირებული ამპლიტუდით და სიხშირით. მოდელის გამოსასვლელზე მიღებულ მონაცემებს ვინახავთ, შემდეგ დამუშავებისათვის.

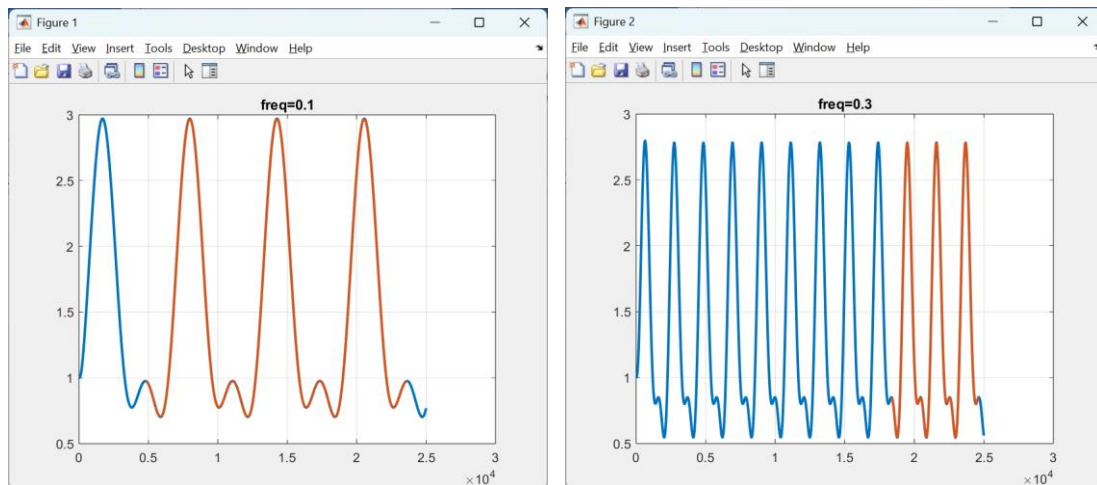


ნახ. 3

პირველ რიგში ექსპერიმენტალურ მონაცემებიდან დამუშავებული კოდის საშუალებით გამოიყოფა დამყარებული რეჟიმის ერთი ან რამოდენიმე პერიოდი. პერიოდების რაოდენობას ირჩევს მკვლევარი და აფიქსირებს კოდის საწყის პირობებში ნახ. 3.

როგორც ნახ. 3-დან ჩანს, პროგრამის გაშვების წინ ვაფიქსირებთ აგრეთვე სიხშირის ცვლილებების დიაპაზონს, ვინაიდან იდენტიფიკაციის მეთოდის გამოყენებისას საჭიროა ჩატარდეს რიცხვითი ჰარმონიული ანალიზი სხვადასხვა სიხშირისას და განისაზღვროს ფურიეს შესაბამისი კოეფიციენტები.

ამის შემდეგ გამოყოფილი პერიოდის მონაცემები მიეწოდება fft ბლოკს და მის გამოსასვლელზე მიღებულ შედეგებიდან განისაზღვრება ფურიეს კოეფიციენტები a_0, a_i, b_i . იგივეს მივიღებთ fft-ფუნქციის საშუალებით კოდის შესაბამის ნაწილში. ფურიეს კოეფიციენტების მიღებული შეფასებები გამოიყენება პარამეტრების განსაზღვრისათვის.



ნახ. 4

3. დასკვნა

ნაშრომში დამუშავებულია მეთოდის არაწრფივი დინამიკური სისტემების აქტიური ექსპერიმენტალური მონაცემების დამუშავებისათვის პარამეტრული იდენტიფიკაციის ამოცანის გადასაწყვეტად სიხშირულ არეში. შემუშავებულია ალგორითმი ობიექტის გამოსასვლელი პერიოდული სიგნალის დამყარებული რეჟიმის დაფიქსირებისა და ერთი ან რამდენიმე პერიოდის გამოყოფის, მათი შემდგომი ფურცის ანალიზისათვის და ფურცის კოეფიციენტების განსაზღვრისათვის. ალგორითმი რეალიზებულია სისტემა Matlab/Simulink-ის გარემოში.

გამოყენებული ლიტერატურა:

1. Shanshiashvili B., Rigishvili T. Parameter Identification of Block-Oriented Nonlinear Systems in the Frequency Domain. ScienceDirect. IFAC PapersOnLine. Volume 53, Issue 2, 2020, pp. 10695–10700. Part of the special issue, 21st IFAC World Congress: Berlin, Germany, 11–17 July 2020. Doi.org/10.1016/j.ifacol.2020.12.2843.
2. Shanshiashvili B., Avazneli, B. Identification of Nonlinear Dynamic Systems Structured by Expanded Wiener Model. In: Advances in Production Management Systems. Artificial Intelligence for Sustainable and Resilient Production Systems. APMS 2021. IFIP Advances in Information and Communication Technology, vol 630, pp. 546-554. 2021. Springer, https://doi.org/10.1007/978-3-030-85874-2_58.
3. Shanshiashvili B. Identification of Closed-Loop Nonlinear Systems Using One Class of Block-Oriented Models. Articles of the International Scientific-Practical Conference “Modern Challenges And Achievements Of Information And Communication Technologies” – 2023. (Georgia, Tbilisi, 12-13 October 2023). pp.145-153. Publishing House “Technical University”, 2023, <http://www.gtu.ge/yvela/ufleba/daculia.am/wignhttps://gtu.ge/ims/pdf/docs/collection-of-scientific-works-2023.pdf>
4. Shanshiashvili B. Parameter Identification of One Class of Nonlinear Systems Using Hammerstein Model with Feedback. PCI' 2023. V International Conference “Problems of Cybernetics and Informatics” (Baku, Azerbaijan, August 28-30, 2023). Proceedings of PCI' 2023. Volume 2. 5 pp. DOI: <https://doi.org/10.54381/pci2023.10>
5. Shanshiashvili B. Identification of Nonlinear Systems in Frequency Domain Using Hammerstein Models. Articles of the International Scientific-Practical Conference Modern Challenges and Achievements of Information and Communication Technologies – 2024. (1-2 November 2024, Tbilisi, Georgia). Publishing House “Technical University”, 2024, pp. 332-339. <https://gtu.ge/ims/pdf/docs/collection-of-works.pdf>.

6. ნ.მჭედლიშვილი, ი.დავითაშვილი. დაპროგრამება Matlab გარემოში. მეორე გამოცემა. საქ. ტექნიკური უნივერსიტეტი, თბილისი, 2021.
7. ნინო მჭედლიშვილი, ირმა დავითაშვილი. საინჟინრო სისტემების მოდელირება და სიმულაცია Simulink და Simscape-ის გამოყენებით. 2025.

Experimental Data Processing for Nonlinear System Identification in MATLAB/Simulink

Besarion Shanshiashvili, Irma Davitashvili, Nino Mchedlishvili

Georgian Technical University

b.shanshiashvili@gtu.ge, i.davitashvili@gtu.ge, nino.mchedlishvili@gtu.ge

Abstract

The objective of this study is to address the problem of parametric identification of nonlinear dynamic systems by processing experimental data when the system under investigation is subjected to a harmonic signal with variable frequency. To solve the problem of parameter identification of nonlinear dynamic systems, it is necessary to: extract one or several periods of forced oscillations obtained in the steady state on the objects output for determination the Fourier coefficients, with the aim of their further use for parametric identification of the object. To achieve this objective, the MATLAB computational modeling environment and its integrated structural modeling platform Simulink were employed. A software code was developed to automate the process, structural modeling schemes were created, and methods for determining Fourier coefficients-specifically the fft function and the FFT block-were applied. The proposed methodology was verified through a case study involving a specific nonlinear dynamic system.

Keywords: nonlinear systems, parametric identification, Fourier coefficients, computer modeling system Matlab/Simulink.

ბგერათმონაცვლეობა თურქეთში მცხოვრები ქართველების მეტყველებაში ვარდო ჩოხარაძე

ბათუმის შოთა რუსთაველის სახელმწიფო უნივერსიტეტი

vardo.chokharadze@bsu.edu.ge

რეზიუმე

თურქულიდან ნასესხებ სიტყვებში თვალში საცემია ქართულისთვის დამახასიათებელი ფონეტიკური ცვლილებანი, რითაც ნასესხები სიტყვა ქართულ წარმოთქმას ემორჩილება.

სალიტერატურო თურქულის „k“ თანხმოვანი ქართულში გვადლევს „ყ“-ს ძირითადად სპარსულიდან და არაბულიდან შემოსულ სიტყვებში:

„ყალემი“ – (არ. **Kalem** - ქალემ) - „კალამი“:

„ყალემი მომე დავწერონა“ (იმ.); „ქურშუნყალემი გაქუან?“ (უსტ.); ყალემი არ გაქ კაი, აურუფალი ყალემი კაია“ (ინ); (კალამი ნ. მარს მიაჩნდა რომ ქართულია).

საკვანძო სიტყვები: თურქული ნასესხები სიტყვები, ფონეტიკური ცვლილებები, ქართული გამოთქმა

XIX-XX საუკუნეებში მუჰაჯირობის დიდმა ტალღამ გადაუარა სამხრეთ საქართველოს (იხ. ფაღავა 2003:4). თურქებმა საქართველოს წაართვეს მთელი ჭოროხისა და მტკვრის ზემო წელი, მოსახლეობის დიდი ნაწილი კი ოსმალეთის შიგა პროვინციებში იძულებით გადასახლეს. სიტყვა „მუჰაჯირი“ (არ. Muhacir) არაბულიდან არის შემოსული და სამშობლოდან წასულს, მომთაბარეს, გადასახლებულს ნიშნავს. მუჰაჯირობა უმძიმესი ტრაგედია იყო ქართველი ხალხის ისტორიაში. მუჰაჯირთა შთამომავლებს, რომლებიც თურქეთის რამდენიმე პროვინციაში კომპაქტურად ცხოვრობენ, დღემდე შენარჩუნებული აქვთ ქართული ენა, ყოფა..., თავიანთი მეობის უპირველესი ნიშნები.

გადასახლებულთა რაოდენობის შესახებ ზუსტი ცნობები არ არსებობს. 1891 – 1893 წლებში მუჰაჯირთა შესახებ ცნობებს აგროვებდა ცნობილი საზოგადო მოღვაწე ზ. ჭიჭინაძე. ზ. ჭიჭინაძის ცნობების მიხედვით არ არის სოფელი, სადაც გადასახლებული ოჯახი არ ცხოვრობდეს. მუჰაჯირი ქართველები გადასახლების დროს საცხოვრებლად ისეთ ადგილებს ირჩევდნენ რომლებიც ძალიან წააგავდა მამა-პაპათა ტერიტორიებს.

ასევე 95 წლის ქართველი მუჰაჯირი ცხოვრების ყველაზე დიდ ტრაგედიას ასე გვიყვება: „დამეში მემლექეთში რამდენჯერ მივალ-მუალ, სიზმარში სულ იქ ვარ. აქავრობა მაიდანაი არ დემესიზმრება. იქავრობას ვყაჟირობ სიზმარში, მევიარ ეზოვარ, ჯუმუშავრ გავხედავ, წისქვილში შევალ, მევიარ... ეი, მემლექეთო, მემლექეთო! რაფერ მენატრები! შენ უნახველავი კვდები ღალიბა. თუალები ღია დიმიჩრება, იმა ვკივი... (2. 107).

მშობლიურ მიწა-წყალზე მოწყვეტამ და უცხო გარემოში ცხოვრებამ მათ კულტურაზე და ადათ-წესებზე ნეგატიური ზეგავლენა მოახდინა. მათ უმრავლესობას წინაპრების მიერ დატოვებული ადათ-წესები აქვთ შემონახული და ცდილობენ მომავალ თაობას გადასცენ. ბევრმა მათგანმა მისი ეროვნების შესახებ ბევრი რამ კი იცის, მაგრამ ქართულად ვერ მეტყველებს და ახალ თაობაზე გადასაცემად ბევრს ვერაფერს აკეთებს.

ქართული ენის სამხრული დიალექტები – შავშური, კლარჯული, ტაოური აჭარულთან ერთად ისტორიულ სამხრეთ საქართველოში მცხოვრებ ქართველთა მეტყველებაა. აღნიშნული დიალექტების შესწავლას საფუძველი ჩაუყარა აკად. ნ. მარმა, რომელმაც დიდი ღვაწლი დასდო თურქეთის საქართველოს შესწავლის საქმეს. 1904 წელს მან იმოგზაურა გრიგოლ ხანძთელის ნაკვალევზე შავშეთზე და კლარჯეთში, ჩაიწერა იმერხელთა მეტყველების ნიმუშები და გამოაქვეყნა „დღიურები“ „გრიგოლ ხანძთელის ცხოვრებასთან“ ერთად (იხ. მარი 1911).

საბჭოთა პერიოდში თურქეთის საქართველოში ქართველ მკვლევრებს მუშაობის საშუალება არ ჰქონიათ.

გამაჰმადიანებული ქართველების შესახებ საინტერესო ცნობებს გვაწვდის ექვთიმე თაყაიშვილი „მუსლიმანი ქართველები ყველგან თვალსაჩინოდ გამოირჩევიან სხვა მცხოვრებთაგან, თურქებისაგან, ქურთებისაგან, თარაქამებისაგან... განირჩევიან სახით, ჩაცმა დახურვით, ზნე ჩვეულებით, პატიოსნებით.

XX საუკუნის დასაწყისში ექვთიმე თაყაიშვილმა რამდენიმეჯერ იმოგზაურა ტაოში (1902, 1907, 1917 წ.წ.) არქეოლოგიური მიზნით, მატერიალური კულტურის ძეგლების შესასწავლად. XXს-ის 80-90-იან წლებიდან შესაძლებელი გახდა ისტორიულ ქართულ პროვინციებში ექსპედიციების მოწყობა და იქაურთა მეტყველების მეცნიერული შესავლის ხელახალი დაწყება (პროფ. შ. ფუტკარაძე, პროფ. მ. ფაღავა, პროფ. მ. ცინცაძე, მ/კ ნუგზარ ცეცხლაძე, ასოც. პროფ. მ. ბარამიძე, ასოც. პროფ. მ. კიკვაძე, ასისტ. პროფ. ნ. ფარტენაძე, ასოც. პროფ. ნანა ცეცხლაძე, ასოც. პროფ. ლ. თანდილაძე, ბსუ სამხრეთ-დასავლეთ საქართველოს სამეცნიერო კვლევითი ცენტრის კომპლექსური ექსპედიციები...), დაიწერა არა ერთი სამეცნიერო ნარკვევი (იხ. ფუტკარაძე 1993; 1995; ფაღავა 2003, 2004, 2011...).

ერთი შეხედვითაც ნათელია, რომ თურქულის გავლენა სამხრულ კილოებზე განსაკუთრებით ხელშესახებია ლექსიკურ დონეზე. რაც შეეხება სამხრული მეტყველების ფონეტიკურ და გრამატიკულ სტრუქტურას, იგი ჯერ კიდევ ინარჩუნებს თვითმყოფადობას.

მთელი ჭოროხის აუზი და მტკვრის ზედა ნაწილი საქართველოს ისტორიაში ცნობილია ტაო-კლარჯეთად (იხ. თაყაიშვილი 1991: 197). სადაც ისტორიულად ჩამოყალიბდა რამდენიმე ქვეყანა: სპერი, ტაო, კლარჯეთი, შავშეთი, აჭარა. შევნიშნავთ, რომ ქართველ მეცნიერთა ერთი ნაწილი შავშეთს კლარჯეთის ნაწილად მიიჩნევს, რაც არაა სწორი. შავშეთი და კლარჯეთი ორი სხვადასხვა „ქვეყანაა“ თავისი დიალექტით, ფოლკლორით, ეთნოგრაფიით... თუმცა, აქვე აღვნიშნავთ, რომ სამხრული კილოები ახლოს მდგომი ქვესისტემები არიან, გულისხმობენ საერთო ფონეტიკურ და გრამატიკულ გარდაქმნებს და ქმნიან ერთმანეთთან ახლოს მდგომ ქართული ენის დიალექტთა სამხრულ ჯგუფს (ფაღავა 2002), ისტორიულ სამხრულ მეტყველებას (მიდიგური 1975. იხ. ნიჟარაძე 1975, რედაქტორის წინასიტყვაობა).

- ვესაუბრე ერთ მოხუცს პორტადან, რომელსაც ძალიან ცოტა ესმოდა ქართული, მაგრამ თურქულის გარეშე ფრაზას ვერ დაამთავრებდა (მარი 1911: 130).

მას შემდეგ რაც თურქეთის საკუთრება გახდა იქ მცხოვრებ ქართველ მოსახლეობას უწევს მათ ენასთან შეგუება და მშობლიური ენის დავიწყება.

„ჭოროხის ხეობის“ მკვიდრთა მეტყველებასა და ყოფას საყურადღებო შრომები უძღვნეს: ჯ. ნოღაიდელმა, მ. ხუბუამ, შ. ნიჟარაძემ, მ. ცინცაძემ, ალ. მსხალაძემ, ვ. შამილაძემ, ვლ. მგელაძემ, აზ. ახვლედიანმა, ნ. ჯიჯავაძემ, თ. შიოშვილმა, შ. ფუტკარაძემ, ნ. მგელაძემ, ნ. ცეცხლაძემ, ნ. გურგენიძემ, მ. ფაღავამ და სხვებმა.

– ისტორიულ სამხრეთ საქართველოსა (აჭარა, შავშეთი, კლარჯეთი, ტაო) და მუჰაჯირთა შთამომავლებით დასახლებულ რეგიონებში შეგროვდა მრავალფეროვანი დიალექტოლოგიური მასალა, რომელიც მნიშვნელოვანი წყაროა ლინგვისტური კვლევისათვის.

– ისტორიულ სამხრეთ საქართველოს მკვიდრნი და მუჰაჯირთა შთამომავლები ორი ენის (ქართული – მშობლიური და თურქული – სახელმწიფო) მატარებელნი არიან. მათი მეტყველება (ლექსიკა უფრო მეტად, ფონეტიკა და გრამატიკა – ნაკლებად) განიცდის თურქულის გავლენას. თურქიზმები სამხრულ მეტყველებაში ხელშესახებია. საყურადღებოა, რომ ქართული ენა უმეტეს შემთხვევაში ახერხებს თავის სტრუქტურას დაუქვემდებაროს თურქული ნასესხობანი.

სალიტერატურო თურქულის „k“ თანხმოვანი ქართულში გვამღვეს „ყ“-ს ძირითადად სპარსულიდან და არაბულიდან შემოსულ სიტყვებში:

„ყაღები“ – (არ. Kalem - ქაღემ) - „კალამი“:

„ყაღები მომე დავწერონა“ (იმ.); „ქურშუნყაღები გაქუან?“ (უსტ.); „ყაღები არ გაქ კაი, აურუფალი ყაღები კაია“ (ინ); (კალამი ნ. მარს მიაჩნდა რომ ქართულია).

ყაღე – (Kale ქაღე- „ციხე“):

„უსტამისის ყაღე თამარა დოდოფალმა გააკეთა“ (უსტ.); „ყაღეზე ახვალთ ქია, იქ ერთი ემეა“ (უსტ.); „თურქი კაც კლავს და ყაღეს არ დაანგრევს?“ (ჩაქ.); „უსტამისის ყაღე თამარა დედოფალმა გააკეთა“ (უსტ.); „ქილისე არ არი, ყაღე არი“ (უსტ.)...

ყაჩ – (kaç - ქაჩ - „რამდენი“):

„ხოფადან ყაჩ კილომეტრია ბათუმი?“ (ბაზგ.); „ბათუმიდან ყაჩ საათში მოხვედით“ (ჩაქ.); „ღარჭი წევდა და ყაჩ საათში მუა?“ (უსტ.); „ჩვენ ოღლაში ყაჩ საათში მივალთ“ (იმ.); „ყაჩ საათია“ (სტ.)...

ყირმიზი – (kırmızı - ქირმიზი - „წითელი“):

„არი თეთრი სიმიინდი, ყირმიზი სიმიინდი, ბათუმის სიმიინდი“ (ქლას.); „ყირმიზი კაბა რო აცვია, ისა ხატიჯვია“ (იმ.); „ყირმიზი კაბა გიხტება“ (უსტ.)...

შდრ. „ლომის შვილმა ჩევდა ახორში, ჯერ მოკლა ყირმიზი ხბო“ (ა. ზეკ.); „მამაჩემს ნატიბევრა ორმოც ყირმიზში ქონდა ნაყიდი“ (ნ. რუს.) (ნიჟარაძე 1971: 373).

ყისმეთი – (kismet - ქისმეთ - „ბედი“):

„შენი ყისმეთი არ ყოფილა“ (იმ.); „ჩემი ყისმეთი არ იყო და გეეთხუა“ (უსტ.);

შდრ. „ჰად ხუსია ო და ჰად ის ქალი, მარა, ხომ იგი, ჰელბეთ მისი ყისმეთი ყოფილა!“ (ნიჟარაძე 1971: 373).

ყირყ – (Kirk - ქირქ – ორმოცი, თანე (Tane) – ცალი):

„ღარჭი ქი ყოლია, ღარჭი არ გუუმეტნია და ყირყ თანე დევე დუუკლია“; „ყირყ გუნ ყურანს იკითხებენ ხოჯები...“

ქილისა – (Kilise - ქილისე - „ეკლესია“, „ტაძარი“):

„ერთი ქილისა რაბათში იყო, ერთი ტიბეთში იყო, მე შევდიოდი ქილისეში ჰამა, ჯამეთ უხმარიათ, ჯამეთ“ (აშ.); „თხარეს, ძველად ყოფილა ქილისა“ (საზგ.); „ნუ გეშინია, აქევრი გზა კადარი, არ შეგეშინდეს, ბიჭო, ქომო არი ქილისე, იმ სერის ძირშია გეარო“ (დ.); „ეს ალაგი ქილისე ყოფილა, დანგრევლა იშტა, ხასაბა არი“ (იფხ.)... Kilise – Kilise – کلیسا (ლექსიკონი 2001.: 852).

ტადა – (თ. Dayı - დაი - „ბიძა“, „დედის ძმა“):

„ის ყოფილა ტადაი, შუბნის ზედამ ვაკედან“ (იმ.); „ცხოვრება ასეა. ერთი ძმა პატარა არის. ორი წელიწადია ფსიქიატრულად ავადაა. ჩემი ტადაც ასეა, თავი ჩამეიხრო“ (ბაზგ.); „ახლა

იმან'ნა დაგაწერიოს, ჩემი კაცის **ტაადა**” (ბაზგ.); „თქვენ ცქციტად ვერ ძართ, **ტაადა** საქმობს აგზე, ჩემ კაცისა **ტაადა** ის” (ბაზგ.)...

შემს-ედ-დინის მიხედვით **ტაა** – طایى და Day1 - ایا ერთი და იგივეა და ნიშნავს „დედის მმას” (ლექსიკონი 2001.:378; Kâmüsi 1989.: 602, 874).

მუსაფირი – (Misafir - მისაფირ - „სტუმარი”):

„დაგაყენებთ, კაცებ ერთ ოთახში ავავსობ, **მუსაფირ** გაგხდი“ (უ.); „მუსაფირ გელდი“ – „სტუმარი მოვიდა“ (უსტ.); „**მუსაფირ** დაჩოვლი ვარ” (ხევწ.); „**მუსაფირ** გელდი, აქევრი ვარ” (უსტ.)...

ლერერი – (Reçer - რეჩერ – „მურაბა”):

„ამა **ლერერ** ვეტყვით, ნახე, გერმელია, ჩილექ **ლერერია**, „მარწყვი” (დ.)...

ჰ/ზ-ს ბგერათმონაცვლეობის ფორმები დასტურდება ლაზურშიც. თურქული (**h**) **ჰ** ლაზურში გვადლევს **ხ** ბგერას. მაგ:

რახმეტლი//რაჰმეტლი – „rahmetli” - (ხოფ. არქ. ვიწ.) „ცხონებული”:

რახმეტლი ჰამ ბერეში ბაბა... (ათინ.) „ცხონებული ამ ბავშვის მამა” (ყიფშიძე 1939:72).

რახმეტლი პაპულის დიდო მასალი უჩქიტუ (ხოფ.) „ცხონებულმა ბაბუაჩემმა ბევრი ზღაპარი იცოდა” (ა. თანდილავა).

ლაზურ მეტყველებაში პარალელურად „**რაჰმეტლი**” ფორმაც იხმარება. თურქულ ენაში გვაქვს **h** (**ჰ**), ლაზურში **ხ**; თურქ. **t** (**თ**), ლაზურში **ტ** (თანდილავა 2003:91).

როგორც ვხედავთ, **ჰ:ხ** თანხმოვანთმონაცვლეობა საინტერესო და მრავალფეროვან სურათს იძლევა ნასესხებ ლექსიკაში. უნდა ითქვას, რომ ამ შემთხვევაშიც ენა ცდილობს საკუთარ ფონეტიკურ კანონებს დაუქვემდებაროს ნასესხები სიტყვები და უმეტეს შემთხვევაში ახერხებს კიდევ.

თურქულიდან ნასესხებ სიტყვებში თვალში საცემია ქართულისათვის დამახასიათებელი ფონეტიკური ცვლილებანი, რითაც ნასესხები სიტყვა ქართულ წარმოთქმას ემორჩილება.

გამოყენებული ლიტერატურა:

1. **ფაღავა მამია**, „სამხრული კილოების ფონემატური სტრუქტურა“, სადოქტორო დისერტაცია (ხელნაწერი), ბათუმი.
2. ენობრივი სიტუაცია სამხრეთ საქართველოში და სამხრული მეტყველების დიალექტური შედგენილობის საკითხი. ბათუმის სახელმწიფო უნივერსიტეტის შრომები. V, ჰუმანიტარულ მეცნიერებათა სერია. ბათუმი.
3. **Mapp 1911**: Mapp H.Я. „Георгий Мерчул, Житие св. Григория Хандзийского с дневником поездки в Шавшетию и Кларджию“, ТРАГФ, т.VII, СПб.
4. **ლექსიკონი 2001**: თურქულ-ქართული ლექსიკონი, I-II, სტამბოლი.
5. **ლექსიკონი 1989**: Kâmüsi Türki Şemseddin sâmî.
6. **ნიჟარაძე 1971**: ნიჟარაძე შოთა, „ქართული ენის ზემოაჭარული დიალექტი“, გამომცემლობა „საბჭოთა აჭარა“, ბათუმი
7. **თაყაიშვილი 1991**: თაყაიშვილი ექვთიმე, „სამუსლიმანო საქართველო, ქართული ემიგრანტული ლიტერატურა“, ტ. I, თბილისი.
8. **ფაღავა 2003**: ფაღავა მამია, „სამხრული კილოების ფონემატური სტრუქტურა“, სადოქტორო დისერტაცია (ხელნაწერი), ბათუმი.

9. **ფაღავა 2003:** ენობრივი სიტუაცია სამხრეთ საქართველოში და სამხრული მეტყველების დიალექტური შედგენილობის საკითხი. ბათუმის სახელმწიფო უნივერსიტეტის შრომები. V, ჰუმანიტარულ მეცნიერებათა სერია. ბათუმი.
10. **მ. ფაღავა 2011:** ფაღავა მამია, „შავშური ჩანაწერები“, გამომცემლობა „ჰოროსი XXI“, თბილისი.
11. **მ. ფაღავა 2007:** ფაღავა მამია, „ხანძთისა და შატბერდის ლოკალიზაციისათვის. ჟ. მნათობი, I, თბილისი.
12. **ფუტკარაძე 1993:** ფუტკარაძე შუშანა, „ჩვენებურების ქართული“, „აჭარის ჟურნალ-გაზეთების“, (გამომცემლობა) ბათუმი.

Sound Alternation in the Speech of Georgians Living Turkey

Vardo Chokharadze

Batumi Shota Rustaveli State University

vardo.chokharadze@bsu.edu.ge

Summary

Georgian characteristic phonetic changes are very frequent in the words borrowed from Turkish language, by which the loan word submits to Georgian pronunciation.

Literary Turkish consonant “k” gives “kh” (ყ) in the words originated basically from Persian and Arabic languages.

“**Khalem**” (Ar. **Kalem** - ქალემ) – “pen”.

“Khalemi mome davtserona” (Im.); “Kurshunkhalemi gaquan?” (Ust.); “Khalemi ar gaq kai, aurufali khalemi kaia” (In); (N. Marr thought that Kalam is Georgian).

Keywords: Turkish Loanwords, Phonetic Changes, Georgian Pronunciation

Integration of Artificial Intelligence in Production Planning: A Systematic Literature Review in Operations Management

Mezhuyev Vitaliy¹, Muaz Barucic¹, Ibraim Didmanidze²

¹FH Joanneum University of Applied Sciences, Kapfenberg, Austria

²Batumi Shota Rustaveli State University, Batumi, Georgia

vitaliy.mezhuyev@fh-joaanneum.at, ibraim.didmanidze@bsu.edu.ge

Abstract

This study investigates the integration of artificial intelligence (AI) into production planning within operations management, highlighting its growing importance in modern industrial environments. Traditional systems such as ERP and MES increasingly struggle to meet the flexibility, responsiveness, and data-driven requirements of Industry 4.0 and emerging Industry 5.0 systems. To address this gap, a systematic literature review (SLR) was conducted to identify current AI applications, assess their benefits and challenges, and evaluate their impact on organizational performance. Results reveal that machine learning (ML) and deep learning (DL) are the most widely applied AI techniques in production planning, supporting tasks such as demand forecasting, scheduling, real-time monitoring, and resource optimization. These technologies enable more accurate decision-making, improved responsiveness, and greater efficiency in planning processes. Furthermore, AI supports autonomous systems and enhances the resilience and adaptability of production environments. However, effective implementation remains dependent on high-quality data, appropriate algorithm selection, and organizational readiness. Key challenges include data preparation, integration with existing systems, model transparency, and workforce skills. Additionally, the findings emphasize the need for cross-functional collaboration and employee upskilling to achieve successful AI adoption. Overall, AI provides substantial potential to enhance production planning performance, increase productivity, and strengthen competitiveness. At the same time, companies must address technical, organizational, and human-related factors to fully leverage AI-driven planning systems.

1.Introduction.

Artificial intelligence (AI) has evolved from rule-based symbolic systems to data-driven models capable of learning and autonomous decision-making. Modern AI draws on machine learning (ML), deep learning (DL), neural networks, and natural language processing to interpret data, recognize patterns, and optimize decisions, making it increasingly relevant across industrial domains.

In manufacturing, the shift toward Industry 4.0 and the emerging principles of Industry 5.0 have accelerated the need for intelligent and adaptive planning systems. Traditional planning tools such as ERP, MES, and APS, while foundational, often lack the flexibility and real-time responsiveness required to manage complex, interconnected, and dynamic production environments. Competitive pressures demand higher product quality, reliable delivery performance, shorter lead times, and efficient resource utilization. AI-enhanced planning systems offer the potential to meet these requirements by leveraging real-time data, predictive analytics, and autonomous decision support.

This research addresses the integration of AI into production planning and investigates three key questions:

1. Which AI models are currently applied in production planning within operations management?
2. What advantages and disadvantages are associated with AI-based planning?
3. How does AI influence the operational and organizational environment?

To answer these questions, a systematic literature review (SLR) was conducted to identify and evaluate peer-reviewed studies published between 2020 and 2024. The review synthesizes current developments, application areas, limitations, and future challenges in AI-driven production planning.

The findings aim to provide a structured overview of state-of-the-art AI applications in production planning and offer guidance for practitioners and researchers on how AI can strengthen planning performance, competitiveness, and industrial transformation.

The remainder of this paper is structured as follows: Section 2 presents the main body, including background on production planning and AI, the SLR methodology, and key findings on AI models, advantages, and challenges. Section 3 discusses the implications of these findings, addressing integration trade-offs, human factors, and strategic extensions. Finally, Section 4 concludes with a summary of insights, recommendations for implementation, and suggestions for future research.

2. Main Part.

2.1. Background: Production Planning and AI

Production planning and control (PPC) ensures efficient order execution by coordinating tasks, resources, and scheduling. Traditional systems such as ERP, MES, and APS support planning tasks but often lack flexibility in highly dynamic environments driven by Industry 4.0 requirements, including real-time data integration and autonomous decision support. As manufacturing systems evolve into cyber-physical socio-systems (CPSS), AI provides computational capabilities to analyse large data streams, identify complex production patterns, and support autonomous, adaptive decision-making.

2.2. Systematic Literature Review Methodology

A systematic literature review (SLR) approach was adopted to ensure transparency, reproducibility, and conceptual rigor. Peer-reviewed sources published from 2020–2024 in ScienceDirect, SpringerLink, and Emerald Insight were screened. Inclusion criteria included English language, full-text availability, and relevance to AI in production planning. Out of 1,030 initial publications, 28 articles met all criteria following multi-stage screening and PRISMA-based documentation.

2.3. Key Findings

Benefits of AI-Driven Planning

AI improves production planning by enabling:

- Real-time monitoring and rapid response
- Enhanced resource utilization
- Improved reliability and planning precision
- Predictive and prescriptive decision support
- Dynamic scheduling, automated process control, and performance optimization emerged as high-value use cases.

Challenges and Limitations

- Barriers to adoption include:
- High data quality requirements

- Integration complexity with legacy systems
- Need for specialized skills and employee acceptance
- Model transparency and interpretability concerns
- Companies must strengthen workforce competence and foster trust in AI-enabled decision systems.

3. Discussion.

The systematic review indicates that artificial intelligence has significant potential to transform production planning, yet its adoption remains uneven across industries. While AI-driven models—particularly ML—demonstrate superior forecasting accuracy, adaptive scheduling, and real-time response capabilities, practical implementation is influenced by several organizational and technological constraints.

A central insight is the trade-off between AI's advanced predictive capability and the complexity of integrating these systems into existing planning environments. Traditional ERP, MES, and APS systems continue to serve as core planning tools, but they often lack the flexibility and real-time data processing required for Industry 4.0 environments. AI systems, when combined with these platforms, can enhance responsiveness and autonomy; however, this requires seamless data pipelines and robust data governance frameworks to ensure data quality and availability.

Human factors also play a critical role. AI does not act as a replacement for planners but instead augments decision-making by automating calculation-intensive tasks and supporting strategic decisions. The literature highlights the importance of employee acceptance and upskilling to fully leverage AI capabilities and avoid resistance, skill gaps, or misaligned expectations among planning personnel. Furthermore, while deep learning offers strong performance in complex tasks such as visual inspection and anomaly detection, its interpretability and data requirements remain barriers compared with more transparent machine learning approaches. Organizations must therefore balance advanced model power with explainability and operational reliability.

Finally, the review suggests that AI's value extends beyond efficiency gains. It supports strategic goals such as resilience, adaptability, and sustainability by enabling data-driven resource use, predictive planning, and proactive quality management. However, these advantages will only fully materialize when companies address technical limitations, governance needs, and human-centred implementation strategies.

4. Conclusiones.

This study demonstrates that artificial intelligence is becoming a decisive enabler for modern production planning. Traditional planning systems, while still foundational, lack the flexibility and autonomy required in increasingly dynamic industrial environments. The systematic literature review confirms that AI—particularly machine learning—enhances decision-making by providing advanced forecasting, adaptive scheduling, resource optimization, and real-time process adjustment capabilities.

Machine learning emerged as the most widely applied method due to its ability to extract insights from production data and continuously improve planning performance. Deep learning, although less frequently applied, shows strong potential in specialized domains such as visual inspection, quality control, and anomaly detection. Together, these technologies form the backbone of intelligent production planning aligned with Industry 4.0 and emerging Industry 5.0 paradigms.

Despite these advantages, the review highlights critical challenges. Successful AI deployment depends on data quality, compatible system infrastructure, and appropriate algorithm selection. Equally important are organizational factors - employee acceptance, training, and new forms of collaboration between humans and intelligent systems. Without addressing these prerequisites, companies risk underutilizing or misapplying AI tools.

Overall, AI-driven planning provides substantial opportunities: improving responsiveness, production accuracy, efficiency, and strategic resilience. To fully realize these benefits, industrial organizations must invest not only in technologies, but also in data governance, workforce competencies, and adaptive planning frameworks. When supported by these foundations, AI will serve as a key driver for competitive advantage and sustainable technological development in operations management.

References:

1. Usuga Cadavid, J. P., Lamouri, S., Grabot, B., Pellerin, R., & Fortin, A. (2020). Machine learning applied in production planning and control: A state-of-the-art in the era of industry 4.0. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 31(6), 1531–1558. <https://doi.org/10.1007/s10845-019-01531-7>
2. Elbasheer, M., Longo, F., Nicoletti, L., Padovano, A., Solina, V., & Vetrano, M. (2022). Applications of ML/AI for Decision-Intensive Tasks in Production Planning and Control. *Procedia Computer Science*, 200, 1903–1912. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2022.01.391>
3. Büttner, K., Antons, O., & Arlinghaus, J. (2023). Exploring Implementation Barriers of Machine Learning in Production Planning and Control. *Procedia CIRP*, 120, 1546–1551. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2023.09.211>
4. Dhamija, P., & Bag, S. (2020). Role of artificial intelligence in operations environment: A review and bibliometric analysis. *The TQM Journal*, 32(4), 869–896. <https://doi.org/10.1108/TQM-10-2019-0243>
5. Kriouich, M., & Sarir, H. (2024). Artificial Intelligence Application in Production Scheduling Problem Systematic Literature Review: Bibliometric Analysis, Research Trend, and Knowledge Taxonomy. *Operations Research Forum*, 5(2), 29. <https://doi.org/10.1007/s43069-024-00312-0>

ხელოვნური ინტელექტის ინტეგრირება უცხო ენის სწავლებაში: ChatGPT-ის გავლენა უცხო ენის შემსწავლელელებზე

რუსუდან გოგოხია

ევროპის უნივერსიტეტი

rusudangogokhia@yahoo.com

რეზიუმე

ChatGPT, ხელოვნური ინტელექტის აპლიკაცია, წარმოიშვა, როგორც პერსპექტიული საგანმანათლებლო ინსტრუმენტი ფართო სპექტრის აპლიკაციებით, რამაც მიიპყრო მკვლევარებისა და პედაგოგების ყურადღება. ეს კვლევა, რომელიც შეირჩა ხელოვნური ინტელექტის ეფექტების შესწავლის გამო, რეალურ საგანმანათლებლო კონტექსტში, მიზნად ისახავდა ChatGPT-ის გამოყენებას უცხო ენის სწავლებაში, ამ ინოვაციური მიდგომის პოტენციალის, უპირატესობებისა და ნაკლოვანებების შესწავლას, თუ როგორ მოქმედებს ChatGPT-ის გამოყენება უცხო ენის სწავლაში, ChatGPT-ის გავლენის შესწავლას უცხო ენის შესწავლის პროცესის სხვადასხვა ასპექტზე, მათ შორის სტუდენტების ჩართულობაზე, მოტივაციაზე და უნარების შეძენაზე, თუ რა ძლიერი მხარეები, გამოწვევები და რეკომენდაციები გამომდინარეობს სტუდენტების პერსპექტივიდან ChatGPT-ის გამოყენებასთან დაკავშირებით უცხო ენის შესწავლისთვის. ChatGPT ინტეგრირებული იყო კითხვის, წერის, გრამატიკისა და ლექსიკის უნარების გამოყენებაში. სტუდენტებს შეეძლოთ ChatGPT-ის გამოყენებით შეექმნათ იდეები, ისტორიები ან დაეწერათ წინადადებები, რომლებიც დაკავშირებული იყო აქტუალურ თემებთან. შემუშავდა კითხვები, რომლებიც მოიცავდა ChatGPT-ს გამოყენებას, გავლენას, სარგებელს, ნაკლოვანებებს და ენის შესწავლაში ოპტიმიზაციას. კვლევის შედეგად გამოვლინდა ChatGPT-ის დახმარებით ენის შესწავლის ეფექტურობა, დადებითი და უარყოფითი ასპექტები. კვლევის შედეგები მიუთითებს, რომ ChatGPT-ის დახმარებით ენის შესწავლას დადებითი გავლენა აქვს ენობრივ უნარებზე. დასკვნები მიუთითებს, რომ ChatGPT დადებითად მოქმედებს სტუდენტების სასწავლო გამოცდილებაზე, განსაკუთრებით წერის, გრამატიკისა და ლექსიკის შეძენის კუთხით და აძლიერებს მოტივაციას და ჩართულობას სხვადასხვა სასწავლო აქტივობებში მისი მრავალმხრივი და ხელმისაწვდომი ბუნების წყალობით. ეს დასკვნები ხელს უწყობს უცხო ენის სწავლებაში ChatGPT ტექნოლოგიის გამოყენების ეფექტურობას, შეუძლია ინფორმირება გაუწიოს პედაგოგებსა და მკვლევარებს ეფექტური სწავლების სტრატეგიების და სასწავლო გეგმების შემუშავებაში.

საკვანძო სიტყვები: ხელოვნური ინტელექტი ენის შესწავლაში, ChatGPT, საგანმანათლებლო ტექნოლოგიები

1. შესავალი.

ChatGPT არის ხელოვნური ინტელექტის (AI) ენობრივი მოდელი, რომელიც შემუშავებულია OpenAI-ის (OpenAI, 2024) მიერ. ის საშუალებას იძლევა გენერირდეს ტექსტური პასუხები, რომლებიც ადამიანის მიერ დაწერილი ტექსტის მსგავსია (Shen et al., 2023). ამ შესაძლებლობების წყალობით, ChatGPT-ს შეუძლია წარმოაჩინოს მრავალი შესაძლებლობა. ChatGPT და სხვა დიდ ენობრივ მოდელებს, აქვთ პოტენციალი, გახდნენ შეუცვლელი ტექნოლოგიური ინსტრუმენტები სხვადასხვა სფეროში, როგორიცაა: განათლება, ჯანდაცვა, პროგრამული უზრუნველყოფის ინჟინერია, თარგმანი, ბიზნესი და სხვა. დიდია ცნობის-

მოყვარეობა ხელოვნური ინტელექტის, განსაკუთრებით ChatGPT-ის, გავლენის შესახებ ენის შესწავლაზე. ამ ტექნოლოგიების ინტეგრაცია ენის სწავლებაში ავლენს მრავალფეროვან სტრატეგიებს. ხელოვნური ინტელექტის პოტენციალი, გააუმჯობესოს საგანმანათლებლო გამოცდილება ჩანს Guo, K., & Wang, D. (2023) კვლევებში, რომლებიც ხაზს უსვამენ ხელოვნური ინტელექტის როლს ყოვლისმომცველი უკუკავშირის მიწოდებასა და ენობრივი უნარების განვითარებას.

სოციოკულტურული ფაქტორები მნიშვნელოვნად მოქმედებს მოსწავლეთა დამოკიდებულებაზე ხელოვნური ინტელექტის მიმართ, ხელოვნური ინტელექტის ინტეგრაცია სასწავლო გეგმის და სწავლების მეთოდებში ინოვაციების პოტენციალზე მიუთითებს. ეს სტრატეგიები ხაზს უსვამს ხელოვნური ინტელექტის გამოყენებას განათლებაში, რათა მაქსიმალურად იქნას გამოყენებული ხელოვნური ინტელექტის სარგებელი ენის შესწავლაში. აშკარაა ხელოვნური ინტელექტის, გენერაციული ინსტრუმენტების, როგორიცაა ChatGPT, პოტენციალი ენობრივი უნარების გაუმჯობესებაში. მიუხედავად იმისა, რომ ChatGPT-ს შეუძლია შექმნას ზუსტი და თანმიმდევრული ტექსტი. შეიძლება გაჩნდეს კითხვა მისი შედეგების სანდოობასა და ეთიკურ გამოყენებასთან დაკავშირებით, განსაკუთრებით აკადემიურ კონტექსტში, სადაც მან შეიძლება ხელი შეუწყოს პლაგიატს და შეაფერხოს სწავლა. AlAfnan, M., Dishari, S., Jovic, M., & Lomidze, K. (2023) ასევე დაასკვნა, რომ ChatGPT ხელს უწყობს სტუდენტებში ორიენტირებულ სწავლებას და აძლიერებს კრეატიულობას, პრობლემების გადაჭრის უნარებს და ლექსიკის განვითარებას. ეფექტურობა არა მხოლოდ ამარტივებს სწავლის პროცესს, არამედ ხელს უწყობს სტუდენტებს უფრო ღრმად ჩაერთონ ენის შესწავლის პროცესში. ChatGPT-ის დახმარებით ენის შესწავლა იძლევა შესაძლებლობას, ჩაერთონ კულტურულ და შემოქმედებით სასწავლო გამოცდილებაში.

Michalon, B., & Camacho-Zúñiga, C. (2023) ვარაუდობენ, რომ ChatGPT-ს შეუძლია მნიშვნელოვნად შეუწყოს ხელი კრიტიკული აზროვნებისა და კომუნიკაციის უნარების, ასევე კულტურათშორისი კომპეტენციების განვითარებას, რაც სასიცოცხლოდ მნიშვნელოვანია ენის შესწავლაში. ChatGPT ენის შემსწავლელებს აძლევს შესაძლებლობას, მართონ საკუთარი სასწავლო პროცესი, რაც მათ საშუალებას აძლევს, მიჰყვნენ საკუთარ ტემპსა და სტილს. გარდა ამისა, ChatGPT-ის ინტერაქტიული ბუნება ხელს უწყობს ენის შესწავლის პროცესში უფრო აქტიურ და მოტივირებულ ჩართულობას.

წერის, კითხვისა და გრამატიკის პრაქტიკის შესაძლებლობების შეთავაზებით, ChatGPT ხელს უწყობს სტუდენტების ენობრივი უნარების გაუმჯობესებას სხვადასხვა გზით, ამავდროულად, სთავაზობს სხვადასხვა პერსპექტივებს შემოქმედებით წერასა და ენის გამოყენებაზე, რითაც ენის შესწავლის პროცესს უფრო კრეატიულს და ინტერაქტიულს ხდის. მონაწილეებმა აღიარეს ChatGPT-ის მნიშვნელოვანი სარგებელი, განსაკუთრებით მისი როლი სასწავლო მასალების შექმნის ხელშეწყობაში, სტუდენტების ინტერაქტიული კითხვების საშუალებით ჩართულობასა და სასწავლო პროცესის საერთო გამდიდრებაში. ხელოვნური ინტელექტზე დაფუძნებული სხვა აპლიკაციები, როგორიცაა „Elsa Speak“, სასარგებლო აღმოჩნდა მეტყველების უნარების, განსაკუთრებით კი გამოთქმის უნარის განვითარებისთვის (Akhmad, N. W., & Munawir, A. 2022). მეორეს მხრივ, ChatGPT-ის მიერ მოწოდებული შინაარსისა და სასწავლო მასალების მრავალფეროვნების წყალობით, სტუდენტებს ასევე შეუძლიათ სხვადასხვა კულტურისა და ენობრივი სტრუქტურების გაცნობა. ამიტომ, აუცილებელია ChatGPT-ის გამოყენებისა და სტუდენტის ავტონომიის განვითარების

დაბალანსება, რათა თავიდან იქნას აცილებული ენობრივი უნარების, აზროვნების უნარის შესაძლო გაუარესება და ChatGPT-ზე ზედმეტი დამოკიდებულება.

2. მეთოდოლოგია.

ამ კვლევაში მონაწილეობა მიიღო სხვადასხვა პროგრამიდან და სხვადასხვა ენობრივი დონის მქონე 100 სტუდენტმა. შესწავლილ იქნა ChatGPT-ის გავლენა სტუდენტების ენის შესწავლის გამოცდილებაზე. გარდა ამისა, მათ შეისწავლეს ინსტრუმენტის უპირატესობები და ნაკლოვანებები უცხო ენის სწავლებაში. მიზანი იყო სტუდენტებს აქტიურად გამოეყენებინათ ChatGPT. ChatGPT ინტეგრირებული იყო კითხვის, წერის, გრამატიკისა და ლექსიკის უნარების გამოყენებაში. სტუდენტებს შეეძლოთ ChatGPT-ის გამოყენებით შეექმნათ იდეები, ისტორიები ან დაეწერათ წინადადებები, რომლებიც დაკავშირებული იყო აქტუალურ თემებთან ან შესასწავლ ლექსიკასთან. შემუშავდა შემდეგი კითხვები, რომლებიც მოიცავდა ChatGPT-ს გამოყენებას, გავლენას, სარგებელს, ნაკლოვანებებს და ენის შესწავლაში ოპტიმიზაციას:

1. რა მნიშვნელობა აქვს თქვენთვის უცხო ენის შესწავლას ChatGPT-ის მეშვეობით? შეგიძლიათ განმარტოთ თქვენი ზოგადი პერსპექტივა ამ საკითხთან დაკავშირებით?
2. რა ტიპის აქტივობებისა და უნარებისთვის იყენებთ ChatGPT-ს უცხო ენის შესწავლის სფეროში? ამ აქტივობებს შორის, რომელი აღმოჩნდა თქვენთვის ყველაზე სასარგებლო? (მაგალითად, წერის პრაქტიკა, საუბრის სავარჯიშოები, გრამატიკისა და ლექსიკის ათვისება და ა.შ.)
3. რომელ ენობრივ უნარებში იყო ChatGPT-ის გავლენა ყველაზე გამოხატული?
4. უცხო ენის შესწავლის პროცესში, ChatGPT-ის რომელი დადებითი ასპექტები დააფიქსირეთ?
5. უცხო ენის შესწავლის პროცესში, ChatGPT-ის რა უარყოფითი ასპექტები დააფიქსირეთ?

გამოკვეთილი იყო სტუდენტების განსხვავებული აღქმა, მაგალითად, ერთი სტუდენტი ხაზს უსვამდა ChatGPT-ის როლს კონტექსტური ლექსიკის შესწავლაში, ხოლო მეორე აფასებდა სიტყვების გამოყენებასთან დაკავშირებულ უკუკავშირს. შედეგები მოიცავდა სტუდენტების შეხედულებებს ენის შესწავლის ძლიერ მხარეებზე, გამოწვევებსა და რეკომენდაციებზე.

3. შედეგი.

კვლევის შედეგად გამოვლინდა ChatGPT-ის დახმარებით ენის შესწავლის ეფექტურობა სტუდენტების სასწავლო გამოცდილებაზე. კვლევამ ასევე შეისწავლა ChatGPT-ის დანერგვის დადებითი და უარყოფითი ასპექტები. კვლევის შედეგები მიუთითებს, რომ ChatGPT-ის დახმარებით ენის შესწავლას დადებითი გავლენა აქვს ენობრივ უნარებზე. სტუდენტებმა აღნიშნეს, რომ ChatGPT აუმჯობესებს მოტივაციას და სწავლის ჩართულობას. გარდა ამისა, სტუდენტებმა ხაზი გაუსვეს ChatGPT-ის ადაპტირებას სხვადასხვა სასწავლო გამოცდილების მიმართ, როგორცაა ინტერაქტიული სწავლება, შემოქმედებითი წერა და სხვადასხვა კულტურის შესწავლა, ასევე მის მართვად წვდომას და სწრაფ უკუკავშირს. ამრიგად, შეიძლება ვივარაუდოთ, რომ ChatGPT-ს აქვს პოტენციალი, გააუმჯობესოს ენობრივი კომპეტენცია, ამავდროულად, ხელი შეუწყოს მოსწავლეებში მოტივაციისა და ჩართულობის გაზრდას. თუმცა, აუცილებელია სისტემის დახვეწის გაგრძელება, მისი შეზღუდვების შესამცირებლად და ენის შესწავლის პროცესის გასაუმჯობესებლად. სტუდენტებმა ხაზი გაუსვეს ChatGPT-ის დადებით გავლენას უცხო ენის შესწავლაზე. სტუდენტებმა აღნიშნეს თუ როგორ გააუმჯობესა ChatGPT მათი წერის უნარები. ინსტრუმენტი ასევე ხელს უწყობდა კულტურულ და

შემოქმედებით აქტივობებს, გარდა ამისა, მათ აღნიშნეს ლექსიკისა და წინადადებების სტრუქტურის და გრამატიკული უნარების გაუმჯობესება პრაქტიკული მაგალითებით. ამ დადებითი ასპექტების მიუხედავად, სტუდენტებმა ასევე გამოავლინეს ChatGPT-ის გამოყენების გარკვეული სირთულეები და ხარვეზები. არსებობდა შეშფოთება ChatGPT-ზე შესაძლო ზედმეტად გამოყენებასთან დაკავშირებით. ChatGPT-ის მისი ინტერაქტიული ბუნების, სწრაფი უკუკავშირის და ინტერაქტიული სასწავლო პირობების გამო შეუძლია გააძლიეროს სტუდენტების აქტიური მონაწილეობა სასწავლო პროცესში. საბოლოო ჯამში, ამ კვლევის შედეგები დაეხმარება პედაგოგებსა და მკვლევარებს ენის სწავლების ეფექტური სტრატეგიების შემუშავებაში, სიტუაციის სიღრმისეულ შესწავლაში მის რეალურ კონტექსტსა, მისი გამოყენება შემთხვევების გასაგებად, ახალი მიდგომების, თეორიების ან მოდელების გასაგებად.

4. მსჯელობა.

შედეგი მიუთითებს, რომ ChatGPT დადებითად მოქმედებს ენობრივ უნარებზე და ზრდის მოსწავლეებში მოტივაციასა და ჩართულობას მისი მრავალფეროვნებისა და სხვადასხვა სასწავლო აქტივობებში ხელმისაწვდომობის გამო. ChatGPT-ის დახმარებით ენის შესწავლის კვლევები, ასევე ხელოვნური ინტელექტით აღჭურვილი ენის შესწავლის ინსტრუმენტების ეფექტურობის სისტემატური მიმოხილვები ადასტურებს ამ ტექნოლოგიების მნიშვნელობას ენობრივი კომპეტენციებისა და სტუდენტთა ჩართულობის გაუმჯობესების საქმეში. Shadiev, R., & Liang, Q. (2023) აღნიშნეს, რომ მოსწავლეებში შეინიშნება გაზრდილი მოტივაცია, ჩართულობა და თავდაჯერებულობა, მიუხედავად ზოგიერთი გამოვლენილი გამოწვევისა. ასეთი მიღწევები გადამწყვეტია ენის შესწავლისთვის. Song, C., & Song, Y. (2023) აღმოაჩინეს, რომ ხელოვნური ინტელექტის დახმარებით ChatGPT-ის გამოყენებით სწავლებამ გამოიწვია ინგლისური ენის, როგორც უცხო ენის, შემსწავლელთა წერის უნარების, მოტივაციის, ორგანიზებულობის, თანმიმდევრულობის, გრამატიკისა და ლექსიკის მნიშვნელოვანი გაუმჯობესება ტრადიციულ სწავლებასთან შედარებით.

Nugroho, A., Putro, N. H. P. S., & Syamsi, K. (2023) ხაზგასმით აღნიშნეს, რომ ChatGPT-ს შეუძლია ავთენტური ურთიერთქმედების სტიმულირება და სტუდენტების პროდუქტიულობისა და ენის შესწავლის აქტივობებში ჩართულობის გაზრდა. ეს პერსპექტივები ამყარებს ჩვენს დაკვირვებას სტუდენტებში ChatGPT-ის სასწავლო აქტივობებში ხელმისაწვდომობის გაზრდისა და ჩართულობის შესახებ. ChatGPT-ის ეფექტურობას ენის შესწავლაში და მის პოტენციალს შექმნას გაუმჯობესებული ენის შესწავლის შესაძლებლობა და რევიოლუცია მოახდინოს ენის პედაგოგიკაში, თუმცა საჭიროა შემდგომი კვლევა, რათა სრულად გავიგოთ მისი გავლენა და პოტენციალი სხვადასხვა სასწავლო გარემოში. რაც მიუთითებს ხელოვნური ინტელექტის ეფექტური გამოყენების უფრო ფართო ტენდენციაზე ენის სწავლებაში.

McCallum, L. (2023) განიხილა ChatGPT-ის პოტენციალი კულტურათაშორისი კომუნიკაციური კომპეტენციის განვითარებაში. ეს ასპექტი განსაკუთრებით აქტუალურია უცხო ენის შესწავლის კონტექსტში, სადაც კულტურული გაგება მნიშვნელოვან როლს ასრულებს.

შედეგები ხაზს უსვამს ChatGPT-ის გამოყენების უპირატესობას ენის შესწავლისას. ChatGPT-ს შეუძლია გააუმჯობესოს მონაწილეთა წერის უნარი მათთვის იდეების, უკუკავშირის მიწოდებით და სხვადასხვა გრამატიკული სტრუქტურების გაცნობით. ეს შედეგები ხაზს უსვამს ChatGPT-ის პოტენციალს ტრადიციული ენის შესწავლის მეთოდების გაძლიერებაში, განსაკუთრებით წერის უნარების განვითარებაში. სტუდენტებმა აღნიშნეს, რომ ChatGPT-ის გამოყენება დაეხმარა მათ უფრო კრეატიულები გამხდარიყვნენ. ChatGPT აუცილებელია

სწავლებისა და სწავლის პროცესში კრეატიულობის გასაუმჯობესებლად. ხაზს უსვამს მასწავლებელ-მოსწავლის ძლიერი ურთიერთობების შენარჩუნების მნიშვნელობას და ხელოვნური ინტელექტის, როგორც ტრადიციული სწავლების მეთოდების დამატებითი მექანიზმი. პედაგოგებმა სიფრთხილე უნდა გამოიჩინონ ხელოვნური ინტელექტის ტექნოლოგიების ინტეგრაციისას რადგან თავიდან იქნას აცილებული მოსწავლეების ხელოვნური ინტელექტის სისტემებზე ზედმეტად დამოკიდებულების რისკი და უზრუნველყონ მისი დაბალანსებული გამოყენება. მიუხედავად იმისა, რომ ეს სიტუაცია ეხმარება მოსწავლეებს რეფლექსიური და კრიტიკული აზროვნების განვითარებაში, შესაძლოა ხელი შეუშალოს კრიტიკული აზროვნების უნარებისა და მოსწავლის ავტონომიის განვითარებას.

საყურადღებოა Vaccino-Salvadore, S. (2023) კვლევა, სადაც განხილულია ChatGPT-ის გამოყენების ეთიკური ასპექტები ენის შესწავლაში, მათ შორის კონფიდენციალურობასთან, მიკერძოებასთან, სანდოობასთან, ხელმისაწვდომობასთან, ავტენტურობასთან და აკადემიურ მთლიანობასთან დაკავშირებულ საკითხებს. შედეგები მიუთითებს, რომ მიუხედავად იმისა, ChatGPT და მსგავსი ხელოვნური ინტელექტის ინსტრუმენტები მნიშვნელოვან სარგებელს გვთავაზობენ, მათი როლი უნდა განვიხილოთ, როგორც ტრადიციული სწავლების მეთოდების დამატება, რაც უზრუნველყოფს ენის განათლებისადმი დაბალანსებულ და ჰოლისტურ მიდგომას.

5. დასკვნა.

დასკვნის სახით შეიძლება ავლნიშნოთ, რომ ჩვენ შევისწავლეთ ChatGPT-ის გავლენა უნივერსიტეტის სტუდენტებში ენის შესწავლის შესაძლებლობებსა და გამოწვევებზე. დასკვნებმა გამოავლინა ChatGPT-ის დადებითი გავლენა მოტივაციაზე და ინტერაქტიული ენის შესწავლის გამოცდილების ხელშეწყობაზე. გარდა ამისა, აღმოჩნდა, რომ ChatGPT ხელს უწყობს მონაწილეთა მრავალფეროვანი კულტურის ხედვას და ავითარებს მათ შემოქმედებითი აზროვნების უნარებს საკლასო აქტივობების დროს. თუმცა, ყურადღება უნდა მიექცეს ზედმეტ გამოყენებას და დამოკიდებულებას. ხელოვნური ინტელექტის ინსტრუმენტებზე ზედმეტად დამოკიდებულებამ შეიძლება გამოიწვიოს უნარების გაუარესება და შეაფერხოს კრიტიკული აზროვნებისა და მოსწავლეთა ავტონომიის განვითარება. ამ მოსაზრებების გათვალისწინებით, დასკვნა ხაზს უსვამს პედაგოგების როლის მნიშვნელობას იმის უზრუნველყოფაში, რომ ხელოვნური ინტელექტის ინსტრუმენტები გონივრულად იქნას გამოყენებული. ChatGPT-ის რეალურ ცხოვრებაში ჩართვა ხელს უწყობს ცოდნის მიღებას და განმტკიცებას.

ლიტერატურა / References:

1. Akhmad, N. W., & Munawir, A. (2022). Improving the students' pronunciation ability by using Elsa Speak App. *Ideas: Journal on English Language and Learning Linguistics and Literature*, 10(1), 846–857. <https://doi.org/10.24256/ideas.v10i1.2868>
2. AlAfnan, M., Dishari, S., Jovic, M., & Lomidze, K. (2023). ChatGPT as an educational tool: Opportunities, challenges, and recommendations for communication, business writing, and composition courses. *Journal of Artificial Intelligence and Technology*. <https://doi.org/10.37965/jait.2023.0184>
3. Guo, K., & Wang, D. (2023). To resist it or to embrace it? Examining ChatGPT's potential to support teacher feedback in EFL writing. *Education and Information Technologies*. <https://doi.org/10.1007/s10639-023-12146-0>

4. McCallum, L. (2023). New takes on developing intercultural communicative competence: Using AI tools in telecollaboration task design and task completion. *Journal for Multicultural Education*. <https://doi.org/10.1108/jme-06-2023-0043>
5. Michalon, B., & Camacho-Zúñiga, C. (2023). ChatGPT, a brand-new tool to strengthen timeless competencies. *Frontiers in Education*, 8, 1251163. <https://doi.org/10.3389/feduc.2023.1251163>
6. Nugroho, A., Putro, N. H. P. S., & Syamsi, K. (2023). The potentials of ChatGPT for language learning: Unpacking its benefits and limitations. *Register Journal*, 16(2), 224–247. <https://doi.org/10.18326/register.v16i2.224-247>
7. Shadiev, R., & Liang, Q. (2023). A review of research on AR-supported language learning. *Innovation in Language Learning and Teaching*, 1–23. <https://doi.org/10.1080/17501229.2023.2229804>
8. Shen, Y., Heacock, L., Elias, J., Hentel, K., Reig, B., Shih, G., & Moy, L. (2023). ChatGPT and other large language models are double-edged swords. *Radiology*, 307(2). <https://doi.org/10.1148/radiol.230163>
9. Song, C., & Song, Y. (2023). Enhancing academic writing skills and motivation: Assessing the efficacy of ChatGPT in AI-assisted language learning for EFL students. *Frontiers in Psychology*, 14, 1260843. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2023.1260843>
10. Vaccino-Salvadore, S. (2023). Exploring the ethical dimensions of using ChatGPT in language learning and beyond. *Languages*, 8(3), 191. <https://doi.org/10.3390/languages8030191>

Integrating Artificial Intelligence into Foreign Language Teaching: The Impact of ChatGPT on Foreign Language Learners

Rusudan Gogokhia

European University

rusudangogokhia@yahoo.com

Abstract

ChatGPT, an artificial intelligence application, has emerged as a promising educational tool with a wide range of applications, attracting the attention of researchers and educators. This study, which was selected for its ability to study in-depth the effects of artificial intelligence in a real educational context, aimed to investigate the use of ChatGPT in foreign language teaching, to explore the potential, advantages and disadvantages of this innovative approach, how the use of ChatGPT affects foreign language learning, to examine the impact of ChatGPT on various aspects of the foreign language learning process, including student engagement, motivation and skill acquisition, and to identify strengths, challenges and recommendations from students' perspectives regarding the use of ChatGPT for foreign language learning. ChatGPT was integrated into the use of reading, writing, grammar, and vocabulary skills. Students could use ChatGPT to generate ideas, stories, or write sentences related to current topics. Questions were developed that included the use, impact, benefits, drawbacks, and optimization of ChatGPT in language learning. The study revealed the effectiveness, positive, and negative aspects of language learning with the help of ChatGPT. The results of the study indicate that language learning with the help of ChatGPT has a positive impact on language skills. The findings indicate that ChatGPT has a positive impact on students' learning experiences, especially in terms of writing, grammar, and vocabulary acquisition, and enhances motivation and engagement in various learning activities due to its versatile and accessible nature. These findings contribute to the effectiveness of using ChatGPT technology in foreign language teaching, and can inform educators and researchers in developing effective teaching strategies and curricula.

Keywords: Artificial Intelligence in Language Learning, ChatGPT, Educational Technologies

მოსწავლის მიერ შექმნილი თვალსაჩინოების ეფექტი უმცროს სასკოლო ასაკში

ნანა ფუტკარაძე, ნანული ჩხაიძე

ბათუმის შოთა რუსთაველის სახელმწიფო უნივერსიტეტი

nana.phutkaradze@bsu.edu.ge, chxaidzenano26@gmail.com

რეზიუმე

თვალსაჩინოების როლი - მოსწავლეთა აღქმა, გაგება, გააზრებაში, საკმაოდ მნიშვნელოვანი და აუცილებელი ნიუანსია. აღსანიშნავია რომ პირდაპირი ახსნის მეთოდით ინფორმაციის მიწოდება შედარებით ნაკლებ ინტერესსა და ცოდნის შეძენას იწვევს ვიდრე თვალსაჩინოების სახით მიწოდებული მასალა უმცროს სასკოლო ასაკში. ჩვენს მიერ წარმოდგენილ სტატიაში საუბარი გვაქვს თვალსაჩინოების მომზადების პროცესზე, რაშიც ჩართულები იქნებიან მოსწავლეები. თვითონ მოუწევთ შეგროვება რესურსის თუ ინფორმაციული წყაროსი, თავიანთი კომპეტენციის ფარგლებში. შემდეგ კი საგაკვეთილო პროცესში მოხდეს მისი შექმნა, სადაც მთელი კლასი იქნება ჩართული.

ჩვენს მიერ ჩატარებულმა კვლევებმა აჩვენა, რომ გაცილებით უკეთესი შედეგი დაიდო აკადემიური მოსწრების თვალსაზრისით, მოსწავლეების მიერ შექმნილი თვალსაჩინოებით, ვიდრე პედაგოგის მიერ მომზადებული თვალსაჩინოებით.

საკვანძო სიტყვები: თვალსაჩინოება, განათლება, სასკოლო ასაკი, სასკოლო რესურსი.

1. შესავალი.

თვალსაჩინოება ერთერთი მნიშვნელოვანი რესურსია დაწყებით კლასებში. რომელიც მოსწავლეებში აზრის გამოთქმის, ჩამოყალიბების და თვითშეფასების უნარს ავითარებს. მისი მთავარი არსი, მოსწავლეებში ინტერესის გაღვივებაა. თვალსაჩინოება უმარტივეს რთულ მასალასა თუ საკითხს რომ იოლად გაიგოს ბავშვმა ახალი მასალა. შესაბამისად აუმაღლებს მოტივაციას და მისი საშუალებით უკვე დაგროვილი ცოდნა მარტივად გამოსაყენებელია პრაქტიკაში, სხვადასხვა სიტუაციებში. ახალი მასალის ახსნისას თვალსაჩინოება ზრდის, აღქმის, გააზრების, დასწავლისა და გაგების პროცესს პარალელურად უვითარებს ანალიზის უნარსაც, რომელიც მჭიდრო კავშირშია წიგნიერებასთან და ინტელექტუალურ რეალიზებასთან.

მეთოდები: კვლევისას გამოყენებულია აღწერითი, შედარების, კრიტიკული და ანალიზის მეთოდები.

2. მსჯელობა.

მასწავლებელი როდესაც ხსნის ახალ მასალას რომელსაც თან ერთვის თანმხლები საფეხურეობრივი პროცესები ეს იქნება ზოგადი წარმოდგენა, ინფორმაციის მოძიება, კითხვა-პასუხის რეჟიმი, გონებრივი იერიში და ასე შემდეგ ამასთანავე მას ხელთეწიფება მისივე ხელით შექმნილი თვალსაჩინოება, ეს იქნება ვიდეორგოლი, პლაკატისა თუ რუქის სახით აბსოლუტურად მისაღები და მისასაღმებელია. აქვე ფასდება პედაგოგის დაუღალავი შრომა, პასუხისმგებლობა, აკადემიური კომპეტენცია და შრომისმოყვარეობა. რა საკვირველია ასეც უნდა იყოს. მაგალითად აქვე დავკონკრეტდები და ხაზგასმით ვიტყვი აუცილებელია მოსწავლის ჩართულობა და მზრუნველობა თვალსაჩინოების მომზადებაში რა თქმა უნდა მისი შესაძლებლობითა და კომპეტენციის ხარჯზე. უდავოა ის ფაქტი, რომ თვალსაჩინოება

გაცილებით ეფექტურია ვიდრე ზეპირი ინფორმაციული მშრალი ახალი ტექსტის მიწოდება მოსწავლეებზე ახალი მასალის ახსნისას. თუმცა ჩვენი კვლევებიდან გამომდინარე გაცილებით ეფექტური და საფუძვლიანია მოსწავლეების მიერ შექმნილი თვალსაჩინოება.

დაწყებით კლასებში თვალსაჩინოება ის მნიშვნელოვანი პირობაა, რომელიც მოსწავლეებში აზრის გამოთქმის, ჩამოყალიბების და თვითშეფასების უნარს ავითარებს. მისი მთავარი არსი, მოსწავლეებში ინტერესის გაღვივებაა. თვალსაჩინოება უმარტივეს რთულ მასალასა თუ საკითხს რომ იოლად გაიგოს ბავშვმა ახალი მასალა. შესაბამისად აუმაღლებს მოტივაციას და მისი საშუალებით უკვე დაგროვილი ცოდნა მარტივად გამოსაყენებელია პრაქტიკაში, სხვადასხვა სიტუაციებში. ახალი მასალის ახსნისას თვალსაჩინოება ზრდის, აღქმის, გააზრების, დასწავლისა და გაგების პროცესს პარალელურად უვითარებს ანალიზის უნარსაც, რომელიც მჭიდრო კავშირშია წიგნიერებასთან და ინტელექტუალურ რეალიზებასთან. განათლების სისტემა მიზნად ისახავს სწავლება სწავლისათვის ხელსაყრელ პირობის შექმნას. ვიზუალური თვალსაჩინოებაც ერთ-ერთი მასში შემავალი მთავარი კომპონენტია, ეს იქნება ვიზუალური, გონებრივი, ფიზიკური თუ სხვა და სხვა სახით მიწოდებული ინფორმაცია, რომელიც მოსწავლის გონებამდე გასაგებად და ინტერესით უნდა მივიტანოთ. მასწავლებლის მთავარი ამოცანაა ცოდნასთან ერთად დახვეწოს და გაუუმჯობესოს სხვადასხვა უნარ-ჩვევები. სასწავლო პროგრამის განხორციელების არსიც კი იმაში მდგომარეობს რომ მოსწავლეს ინტერესი და ცოდნა ეტაპობრივად გაუღრმავოს, თანმიმდევრობის, სირთულის მიხედვით.

მასწავლებლის ლომის წილი იმაში მდგომარეობს რომ, სასწავლო პროცესი საფუძვლიანად და თანამედროვე მეთოდოლოგიური პრინციპით წარმართოს. ბავშვებს შესაბამისი დონის მასალით დაგროვილი ცოდნის საფუძველზე ჩამოუყალიბოს შესაბამისი უნარ-ჩვევები. იმ სახის მასალა მიაწოდოს, რომელიც თვალსაჩინოდ ასახავს ჰუმანურ სინამდვილისთვის დამახასიათებელ სპეციფიკას.

მასწავლებლის კონკრეტული მიზანია მოსწავლეებში ცოდნის განვითარება- გაღრმავება, სწავლება და დახვეწა. სოციალურ-კომუნიკაციური უნარების განვითარება ლექსიკური და ენობრივი ფუნქციების სწავლება (დიალოგი, დისკუსია, პოლემიკა) და შემდგომი სრულყოფა.

პროგრამულად მასალის მოცულობა და სპეციფიკა შესაბამისი სახელმძღვანელოების სხვადასხვა საფეხურზე შემდეგნაირია: პროგრამა ითვალისწინებს აქტიურ და კრეატიულ სწავლებას: პირველივე საფეხურიდან ბავშვებს საშუალება ეძლევათ ისწავლონ ახალი მასალა

მათივე კომუნიკაციის საფუძველზე, ჩაერთონ ჯგუფურსა თუ გუნდურ მუშაობის პროცესში ერთმანეთთან აზრის გაზიარებით. ამ ეტაპზე მნიშვნელოვანია სხვადასხვა ნიუანსის გათვალისწინება: ლოგიკურ-მათემატიკური, ლინგვისტური, სივრცითი, მუსიკალური, მოძრაობითი, ინტერპერსონალური, ინტრაპერსონალური, მოსწავლეების ასაკზე და შესაძლებლობებზე მორგებით. მასწავლებელმა უნდა დაგეგმოს სასწავლო პროცესი ისე რომ დავალებათა მრავალფეროვნებამ მოიცვას შემსწავლელთა სხვადასხვა სახეობა, მაგალითად: ზოგიერთი მოსწავლე სიმღერით გაცილებით ადვილად სწავლობს, ზოგიერთი ბავშვი როლური თამაშით, ზოგი კი მასწავლებლის ხშირი გამეორებით და ა. შ. სწორედ სწავლების ამ საფეხურზე სასურველია ვიზუალური და ფიზიკური მოქმედებების დაუფლება, რაც უშუალო კავშირშია ბავშვის გარემომცველ სამყაროსთან. მაგალითად საკლასო ოთახის აღწერა, ფერები და სხვადასხვა გარემომცველი საგნები. მასწავლებლები პირველ საფეხურზე უხვად იყენებენ სხვადასხვა ტიპის სავარჯიშოებს რომელიც მიზნად ისახავს სირთულეების გადაჭრას, ეს იქნება კროსვორდები, გამოტოვებული სიტყვები, ტექსტის დასრულება, გაფერადება, თუმცა

ამ ეტაპისთვის ყველაზე მნიშვნელოვანია მოსწავლეებზე მორგებული და მათი კომპეტენციის შესაბამისი თვალსაჩინოება. მეორე საფეხურზე კი მასწავლებელმა ათვისებული მასალის განმტკიცება და შემდგომი სრულყოფილება უნდა მოახდინოს. მოსწავლის ცოდნის ამადლებას ხელს უწყობს აგრეთვე აუდიო და ვიდეო მასალები, რომლებიც თვალსაჩინოებების შემავალი კომპონენტია. რაც უზრუნველყოფს დასწავლას მოსმენისა ვიზუალური და საშუალების მეთოდით. ეს იქნება ტექსტიდან აღებული უცხო სიტყვები, ციტატები, ციტატები თუ ფრაზები. რომელებიც მოცემულია სახელმძღვანელოში პროგრამულად. მესამე საფეხურზე ფართოვდება თემატური არეალი და ამ ეტაპისთვის შინაარსი უფრო ზოგადი ხდება და გაცილებით მრავალფეროვანი. იქ უკვე განიხილება შესაბამისი სირთულით წეს-ჩვეულებები, ტრადიციები, სპორტი, ხალხი, ხელოვნება და ამასთან ერთად თან ერთვის გრამატიკის ნაწილიც. მეოთხე საფეხურზე მოსწავლეებში იგრძნობა ცოდნის დაუფლების მნიშვნელოვანი წინსვლა. მიუხედავად ამ ოთხივე საფეხურზე მნიშვნელოვან ადგილს და ჩვენი ინტერესისა და კვლევის სფეროს იკავებს თვალსაჩინოება. თვალსაჩინოებას დიდი როლი აკისრია მოზარდ თაობაში მათთვის უკვე გზა ხსნილია, მარტივად გაგებისაკენ და ამას არაერთი ჩვენს მიერ ჩატარებული კვლევა ადასტურებს, რომელზეც სტატიის დასკვნაში დავკონკრეტდებით.

„ამერიკელი განათლების ფილოსოფოსის, ჯონ დიუსის სახელს უკავშირდება პროგრესული განათლება, რომელსაც XIX- საუკუნეში ჩაეყარა საფუძველი. მოძრაობის მთავარ პრინციპს წარმოადგენდა გამოცდილებით სწავლება, სოციალური ინტერპრეტაციით და სწავლების საგანთან ინტერაქციით ცოდნის აგება. პროგრესული განათლება გულისხმობდა მოსწავლეზე ორიენტირებულ, მისი ინტერესების გათვალისწინებით და მოსწავლის მიერ წარმართულ სწავლების პროცესს. დიული ცდილობდა საკუთარი პრაქტიკით დაემტკიცებინა გამოცდილებით სწავლების საგანმანათლებლო-აღმზრდელობითი პოტენციალის უპირატესობა. მას მიაჩნდა, რომ ბავშვები უფრო ადვილად სწავლობენ კეთებით, საკუთარი გამოცდილებით, როცა ისინი თვითონ ქმნიან რამეს და როდესაც ყოველდღიურ ცხოვრებაში ხედავენ. დიუი არ უარყოფდა საფუძვლიანი ფაქტობრივი ცოდნის აუცილებლობას, მაგრამ ამასთანავე, ამბობდა, რომ განათლების ამ ტრადიციული მიზნის მიღწევა შესაძლებელი იქნებოდა, თუ იგი გადაინაცვლებდა მეორე ხარისხოვან ადგილზე, განათლება არ ნიშნავს მხოლოდ ფაქტების სწავლებას, მთავარია, მოსწავლეებმა შეიძინონ ის უნარი და ცოდნა, რომლის გამოყენებასაც ისინი ყოველდღიურ ცხოვრებაში შეძლებენ. დიუ და მისი განათლების ფილოსოფია ცოდნის პრაქტიკულობაზე იყო ორიენტირებული. დიუსის სკოლაში თითქმის არ იყენებდა ისეთ ნაცად პედაგოგიურ ხერხებს, როგორიცაა გამეორება, ლექცია, საერთო საკლასო მუშაობა, სავარჯიშოების დაფასთან შესრულება და ასე შემდეგ. სამაგიეროდ მიმართავდნენ ფართომეტაბიან ჯგუფურ პროექტებს, რომლებიც მოიცავდა ქსოვას, დურგლობას, მზარეულობას. ასევე რეკომენდებული იყო მოსწავლის გარეთ გაყვანა: დაერგოთ ემენებინათ, ესეირნათ ბუნებაში, მოეწყოთ ექსკურსიები. საგნები ყოველდღიურ ცხოვრებას უკავშირდებოდა; კულინარია, კერვა, ქსოვა, დურგლობა. სკოლა ლაბორატორიაში ბავშვები ზრდიდნენ ხორბალს, ფქვავდნენ პურს და აცხობდნენ, მაღალი კლასები კი მეტალის გადადნობას და ღუმელის გაკეთებასაც სწავლობდნენ. სკოლა დაკავშირებული უნდა ყოფილიყო მთელ სოციალურ გარემოსთან, ოჯახთან, ბუნებასთან, საზოგადოებასთან. მოსწავლეები მათემატიკას დურგლობასთან ერთად სწავლობდნენ, ქიმიას კულინარიით, ისტორიას გააზრებით თანამედროვეობასთან შედარებით. მათი ეროვნული სასწავლო გეგმა მოიცავდა ადგილობრივი სახანძროს მონახულებას ამ შემთხვევაში კი არ მიჰყავდათ და უხსნიდნენ

არამედ მხოლოდ გზას უჩვენებდნენ როგორ უნდა ემუშავათ, დაეცვათ უსაფრთხოება და გადაერჩინათ თავი ან კიდევ დახმარებოდნენ სხვას. გარდა ამისა მასწავლებლები დამატებით ეკითხებოდნენ პროგრამით გათვალისწინებულის გარდა რის სწავლა სურდათ და შესაბამის საკითხსა და მასალას ამუშავებდნენ და აწვდიდნენ მოსწავლეებს. სასწავლო გეგმა კი ითვალისწინებდა ბავშვი მთლიანობაში ინტელექტუალური, მორალურ და ჰუმანურ პიროვნებად ჩამოყალიბებულიყვნენ.“ (განვითარებისა და სწავლების თეორია; 2011წ გვ 193-195)

მასწავლებელი როდესაც ხსნის ახალ მასალას რომელსაც თან ერთვის თანმხლები საფეხურებრივი პროცესები ეს იქნება ზოგადი წარმოდგენა, ინფორმაციის მოძიება, კითხვა-პასუხის რეჟიმი, გონებრივი იერიში და ასე შემდეგ ამასთანავე მას ხელთეწიფება მისივე ხელით შექმნილი თვალსაჩინოება, ეს იქნება ვიდეორგოლი, პლაკატისა თუ რუქის სახით აბსოლუტურად მისაღები და მისასაღმებელია. აქვე ფასდება პედაგოგის დაუღალავი შრომა, პასუხისმგებლობა, აკადემიური კომპეტენცია და შრომისმოყვარეობა. რა საკვირველია ასეც უნდა იყოს. მაგალითად აქვე დავკონკრეტდები და ხაზგასმით ვიტყვი აუცილებელია მოსწავლის ჩართულობა და მზრუნველობა თვალსაჩინოების მომზადებაში რა თქმა უნდა მისი შესაძლებლობითა და კომპეტენციის ხარჯზე.

უდავოა ის ფაქტი, რომ თვალსაჩინოება გაცილებით ეფექტურია ვიდრე ზეპირი ინფორმაციული მშრალი ახალი ტექსტის მიწოდება მოსწავლეებზე ახალი მასალის ახსნისას. თუმცა ჩვენი კვლევიდან გამომდინარე გაცილებით ეფექტური და საფუძვლიანია მოსწავლეების მიერ შექმნილი თვალსაჩინოება, რომლისგანაც მიღებული ცოდნა მყარ შედეგს იძლევა და არასოდეს მიეცემა დავიწყებას, რაც სხვა შემთხვევაში საპირისპირო შედეგს იძლევა. ჩვენი ინტერესიდან გამომდინარე რაც პროფესიულადაც ხელგვეწიფებოდა მოვახდინეთ საგაკვეთილო პროცესზე დაკვირვება დაწყებით კლასებში. დაკვირვებიდან გამომდინარე რეკომენდაციის სახით შევთავაზეთ ჩვენეული ვერსია, რომ მოსწავლეები ჩაერთოთ პედაგოგებს თვალსაჩინოების მომზადებაში. ბუნებრივია გაიზიარეს და რამდენიმემ მოახერხა განხორციელებაც კი. დავასახელებ რამდენიმეს. IV- კლასის ქართული ენა- ი. იაშვილი, ნ. მხეიძე. მ. აბესაძე - გიორგი შატერაშვილის „მერცხლის ბუდე“ გვ.13-15). II- კლასი ქართული ენა. როდონაია-ნინო ბეზარაშვილი“ თოჯინა“ გვ. 78-79). ამ მეთოდის გამოყენების შემდეგ გავაკეთეთ გამოკითხვის მეთოდი სადაც მკვეთრად განსხვავდებოდა პირვანდელი შედეგისგან მეორადი მონაცემები .პირველადი შედეგების მაჩვენებელი და აქტივობა 40 პროცენტით გაიზარდა მას შემდეგ რაც მოსწავლეები გახდნენ თვალსაჩინოების თანამონაწილე.

დაკვირვებას ვახორციელებდით ბათუმის I, II, XV, და XXV საჯარო სკოლებში, პირველიდან მეოთხე კლასის ჩათვლით. აქედან იქნა გამოკითხული 600 მოსწავლე და 70 მასწავლებელი. მასწავლებლებს საკმაოდ აკადემიურად და პროგრამის გათვალისწინებით მიჰყავდათ სასწავლო პროცესი, ქონდათ კრეატიული და სხვადასხვა აქტივობით დატვირთული გაკვეთილები თუმცა მოსწავლის ინტერესთა ხანგრძლივობა მოკლე დროშივე ნელდებოდა. ჩვენს მიერ შეთავაზებული მეთოდით შედეგი საგრძნობლად წამოიწია და ვიმედოვნებთ დაინერგება და პრაქტიკულად გამოადგებათ მასწავლებლებსა თუ სტუდენტებს რომლებიც მომავალი პედაგოგები იქნებიან.

შედეგები. კვლევიდან გამომდინარე მოსწავლეების მიერ მომზადებულმა თვალსაჩინოებამ გარკვეულ შედეგს მიაღწია, გაზარდა ინტერესი, მოტივაცია და აკადემიური მოსწრებაც შედარებით მაღალ ნიშნულზე ავიდა.

3. დასკვნა.

მასწავლებლებს საკმაოდ აკადემიურად და პროგრამით გათვალისწინებით მიჰყავდათ სასწავლო პროცესი, ქონდათ კრეატიული და სხვადასხვა აქტივობით დატვირთული გაკვეთილები თუმცა მოსწავლის ინტერესთა ხანგრძლივობა მოკლე დროშივე ნელდებოდა. ჩვენს მიერ შეთავაზებული მეთოდით შედეგი საგრძნობლად წამოიწია და ვიმედოვნებთ დაინერგება და პრაქტიკულად გამოადგებათ მასწავლებლებსა თუ სტუდენტებს რომლებიც მომავალი პედაგოგები იქნებიან.

გამოყენებული ლიტერატურა:

1. განვითარებისა და სწავლების თეორიები 2011 წელი.
2. დ.უზნაძის ზოგადი 2018 ფსიქოლოგია
3. ეროვნული სასწავლო გეგმა
4. ვ.როდონაიას 2018 „ქართული ენა“ I კლასი საქართველოს მაცნე წელი.
5. ვ. როდონაიას 2018. „ქართული ენა“ II კლასი მე-2 ნაწილი საქართველოს მაცნე
6. ი. გოგებაშვილის 2019 „დედა ენა“ I კლასი მე-2 ნაწილი
7. ნ. ბასილაძე 2018, „პედაგოგიკა“ წელი.
8. ნ. მაღლაკელიძე 2018 „ქართული ანბანი და საკითხავი წიგნები“ I კლასი მე-2 ნაწილი წელი გამომცემლობა მერიდიანი.
9. ნ. მაღლაკელიძე „ქართული ენა და ლიტერატურა“ II კლასი მე-2 ნაწილი გამომცემლობა მერიდიანი 2018 წელი. <https://www.mes.gov.ge/content.php?id=3929&lang=geo>

Efficiency of student-made illustrative materials in early school Age

Nana Phutkaradze, Nanuli Chkhaidze

Batumi Shota Rustaveli State University

nana.phutkaradze@bsu.edu.ge, chxaidzenano26@gmail.com

Abstract

The use of visual aids in the teaching and learning process plays a crucial role in students' perception, understanding, and comprehension. For younger students in particular, visual materials are one the most effective ways to increase interest and motivation for learning. practice shows that verbal explanations alone are less effective – information supported by visual aids perceived more deeply and retained longer in memory. within the framework of our research, special attention was given to the process of creating visual aids, in which students themselves are actively involved. they are given opportunity to search for end collect resources

Independently, select information within their capabilities, and then create visual materials during the lesson. this approach engages the entire class, fostering both motivation and e sense of the study clearly demonstrated that in the groups where students created the visual aids themselves, academic achievement levels were significantly higher than in those groups where the materials were prepared solely by the teacher . This indicates that active student participation in the learning process not only improves comprehension and retention but also promotes the development of critical and creative thinking skills.

Keywords: visibility, education, school age, school resources

ლვაწლი, პერსონალია

მერაბ მეგრელიშვილი

ბათუმის შოთა რუსთაველის სახელმწიფო უნივერსიტეტი

merab.megrelishvili@bsu.edu.ge

„კაცად, მაშინ ხარ საქები, თუ ეს წესი წესად დარგე,
ყოველ დღესა შენს თავს ჰკითხო-აბა, დღეს მე ვის რა ვარგე?“

ილია ჭავჭავაძე

ჩვენი საუკუნის ისტორიაში არიან ადამიანები, რომელთა მიერ განვლილი ცხოვრების გზა და ღვაწლი დასაფასებელია.

ადამიანი, რომ მიდის ამ ქვეყნიდან, მაშინ უფრო ნათლად ჩნდება მის მიერ გაკეთებული საქებ-სადიდებელი საქმე. პიროვნების ამქვეყნიური ცხოვრება მიღწეული შედეგებით განისაზღვრება. ამ მხრივ ბევრი საქებ-სადიდებელი სიტყვა გვაქვს სათქმელი აწ გარდაცვლილ უფროს მეგობარზე, მათემატიკის მეცნიერებათა დოქტორზე, პროფესორსა და აკადემიკოსზე, ალბერტ დანიელის მე შათაშვილზე. „სჯობს სახელისა მოხვეჭა, ყოველსა მოსახვეჭელსა!“ (შოთა). ამ რწმენით იცხოვრა და იშრომა ღვაწლმოსილმა მეცნიერმა და დატოვა დიდი ადამიანის სახელი.

ბატონ ალბერტს სამართლიანად შეეძლო ეთქვა: „ჩემი ცხოვრების წლები, ჩემი სიმდიდრეა“. შემოქმედებით ცხოვრებას ნაზიარებმა, ფუტკარივით იშრომა და ჯილდოდ მიიღო შემოქმედების საერთაშორისო აკადემიის ნამდვილი წევრის, აკადემიკოსის სახელი. დიდი მეცნიერის მიერ განვლილი ცხოვრების გზაზე მიანიშნებს მისი რჩეული ბიოგრაფია. დაბადებულა 1935 წლის 3 ოქტომბერს, თბილისში. 1957 წელს ბატონი ალბერტი მათემატიკურ მეცნიერებას ეზიარა თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტში და დაიწყო მუშაობა საქართველოს მეცნიერებათა აკადემიის გამოთვლით ცენტრში. შემდეგ უკრაინაში გააგრძელა სწავლა და კიევში დაიცვა საკანდიდატო დისერტაცია. მეცნიერმა თავისი ცხოვრების დიდი ნაწილი უკრაინაში გაატარა. 1966 წლიდან სხვა გამოჩენილ მათემატიკოსებთან ერთად იგი სამუშაოდ მიწვეული იქნა უკრაინის მეცნიერებათა აკადემიასთან არსებულ დონეცკის სამეცნიერო ცენტრში. ბატონი ალბერტი წლების მანძილზე ნაყოფიერ სამეცნიერო-კვლევით მუშაობას ეწეოდა დონეცკის სახელმწიფო უნივერსიტეტის ალგებრის და ალბათობის თეორიის გამოთვლით ცენტრში. 1976 წლიდან ცნობილი მეცნიერი ხელმძღვანელობდა დონეცკის სახელმწიფო უნივერსიტეტის მათემატიკის კათედრას. ღვაწლმოსილი არის 180-ზე მეტი სამეცნიერო ნაშრომის ავტორი და მრავალი საკანდიდატო თუ სადოქტორო დისერტაციის ხელმძღვანელი. სასწავლო-სააღმწერდლო საქმიანობასთან ერთად იგი ხელმძღვანელობდა არაერთ საერთაშორისო სამეცნიერო ჟურნალს.

ბატონი ალბერტი იყო მრავალი რესპუბლიკური, საკავშირო, საერთაშორისო სიმპოზიუმის და კონგრესის მონაწილე. 2005 წელს ღვაწლმოსილი მეცნიერი აირჩიეს შემოქმედთა საერთაშორისო აკადემიის ნამდვილი წევრის, აკადემიკოსის თანამდებობაზე. ცნობილი მეცნიერი მათემატიკის, ალგებრის და ალბათობის თეორიის დარგში მიღწეული წარმატებების საფუძველზე შეყვანილი იქნა სრულიად უკრაინის 500 გამოჩენილი ადამიანის სიაში. ასევე იგი გახლდათ სრულიად უკრაინის მწარმოებელთა ასოციაციის ნამდვილი წევრი. ალბერტ

შათაშვილი იყო აკადემიკოსების, ა. ვ. სკოროხოვის და ი.ი გიხმანის, მსოფლიოში ცნობილი მათემატიკური სკოლის წარმომადგენელი. მათი ერთობლივი შრომების საფუძველზე დონეცკის მათემატიკის და მექანიკის სამეცნიერო ცენტრში შეიქმნა მათემატიკური სტატისტიკისა და ალბათობის თეორიის განყოფილება. საქართველოზე უზომოდ შეყვარებული მამულიშვილი უკრაინელებს აცნობდა საქართველოს ისტორიას და ლიტერატურას. მას დიდი წვლილი მიუძღვის დონეცკის ქართული სათვისტომოს შექმნაში.

ბატონი ალბერტი გახლდათ დიდი მეცნიერი და ძვირფასი ადამიანი. ყოველდღიურ ცხოვრებაში მას ვერასდროს ნახავდით დაღვრემილს, დარდიანს, მოწყენილს. თუმცა სადარდებელი ბევრი ჰქონდა. სიცოცხლეზე უზომოდ შეყვარებული ადამიანი დრომ ვერ გატეხა და ვერ შეცვალა და სიცოცხლის ბოლო წუთებამდე დარჩა თავისი საქმის ერთგული. განსაკუთრებული აღნიშვნის ღირსია მისი მოღვაწეობა ბათუმის შოთა რუსთაველის სახელმწიფო უნივერსიტეტში. 2012 წელს, 77 წლის ასაკში ცნობილმა მეცნიერმა გაიმარჯვა კონკურსში და არჩეული იქნა ბათუმის სახელმწიფო უნივერსიტეტის კომპიუტერულ მეცნიერებათა დეპარტამენტის სრული პროფესორის თანამდებობაზე. ბატონ ალბერტ შათაშვილს დიდი ხნის განმავლობაში მეგობრული ურთიერთობა ჰქონდა აკადემიკოს დურსუნ ბალაძესთან, პროფესორებთან იაშა დიასამიძესა და იბრაიმ დიდმანიძესთან. ღვაწლმოსილმა მეცნიერმა არაერთი ახალგაზრდა აზიარა მათემატიკას და გაუკვალა გზა მეცნიერებაში.

ალბერტ შათაშვილმა ქართულ ტრადიციებზე დამკვიდრებული ოჯახი შექმნა. მისი მეუღლე ქალბატონი თამარ ფომინა-შათაშვილი არის მათემატიკის მეცნიერებათა დოქტორი. მისი უფროსი ქალიშვილი, ქალბატონი ლალი მამის პროფესიას ეზიარა და დღეს ამერიკაში ცხოვრობს და მოღვაწეობს. ვაჟი ანდრია ბათუმში განაგრძობს ცხოვრებას. ბატონი ალბერტის შთამომავლები აგრძელებენ მამისა და ბაბუას ტრადიციებს. ქება და დიდება ალბერტ დანიელის ძე შათაშვილის ცხოვრება-მოღვაწეობას.

მარადიდის სკოლა 140 წლისაა

1886 წელს სოფელ მარადიდში იხსნება პირველი დაწყებითი სკოლა. გონიოს უბნის უფროსმა გუბერნატორს გადასცა ხალხის სურვილი სკოლის დაარსების შესახებ. მარადიდის მცხოვრებნი მოითხოვდნენ საღვთო სჯულის, ქართული და რუსული ენების მცოდნე მასწავლებლებს. ამავე პერიოდში საფუძველი ეყრება წერა-კითხვის გამავრცელებელ საზოგადებას. საღვთო სჯულის მასწავლებელს უხდიდნენ 150 მანეთს, ხოლო ქართულის და რუსულის ენის მასწავლებელს 300 მანეთს. მათ უფასოდ ეძლეოდათ სახლი, შეშა და სანთელი.

სოფელ მარადიდში პირველი დაწყებითი სკოლის დაარსებიდან 140 წელი გავიდა. აჭარაში პირველ ქართულ სკოლას მდიდარი სასწავლო-საგანმანათლებლო ტრადიციები გააჩნია, რომლის სათავეებთან ღვაწლმოსილი პედაგოგი იდგნენ.

სკოლა თანდათან ფართოვდებოდა. საჭირო გახდა სკოლის ფართის დამატება, რაშიც დიდი წვლილი მიუძღვის იმდროინდელ კოლმეურნეობის თავმჯდომარეს შოთა ისაყის ძე დიდმანიძეს.

მოდღვარი

ადამიანს დაბადებიდან თან დაჰყვება ძვირფასი თვისებები, რომლებიც გამოარჩევს მას და რჩეულთა შორის მიუჩენს ადგილს.

სწორედ ასეთი, რჩეულთა შორის რჩეული, სულით ძლიერი, მაღალადამიანური ღირსებებით შემკული პიროვნება გახლდათ მარადიდის საჯარო სკოლის ღვაწლმოსილი

პედაგოგი და სოფლის თავკაცი ბატონი შოთა ისაყის ძე დიდმანიძე. მარტო ხუროთმოძღვარზე როდი ბრძანებდა დიდი კონსტანტინე, როდესაც წერდა: გულს უდიდესი სიამაყე შეუდგება ხოლმე, როდესაც შემოქმედის შენის ნაყოფი მიწას და ქვეყანას სამკაულად გამოადგება. მართლაც რომ სიამაყის გრძნობით ივსები, როდესაც ასობით შენი აღზრდილისაგან გესმის საყვარელი აღმზრდელის, მოძღვარის მისამართით ნათქვამი გულთბილი სამადლობელო სიტყვები: პატივცემულო შოთა მასწავლებლო, გვეამაყება, რომ ჩვენი აღმზრდელი და დამკვალიანებელი, ჩვენს სულში სიკეთის მთესველი, ჩვენი კერპი და იდეალი თქვენ იყავით. თქვენ მარტო წერა-კითხვას კი არ გვასწავლიდით, არამედ შეგყავდით დედაენის საგანძურში.

მარადიდში, ამ ისტორიულ, ბუნების თვალწარმტაც სავანეში დაირწა მისი აკვანი. აქედან დაიწყო მამისეული სახლის, მამულის, ქვეყნის, ადამიანების სიყვარულის, ძიების, წვისა და დაგვის გზა-სავალი.

პედაგოგიური პროფესიის ხიზლს ხულოს რაიონის სოფელ სკვანის დაწყებით სკოლაში ეზიარა. ახალბედა, მოაზროვნე, ენთუზიასტი პედაგოგი გამგე-მასწავლებლად დაინიშნა.

1956-1972 წლებში შოთა დიდმანიძე თავკაცობდა მარადიდის კოლმეურნეობას. ამ თანამდებობაზე კიდევ უფრო გამოიკვეთა ბატონ შოთას პიროვნება, წარმოჩნდა იგი როგორც საქმიანი, წინდახედული, პერსპექტივის ხედვის ნიჭით, ორგანიზატორული უნართა და ნოვატორობით გამორჩეული ხელმძღვანელი. მან თვალსაჩინო ამაგი დასდო მშობლიურ სოფელს, მნიშვნელოვანი წვლილი შეიტანა სოფლის ეკონომიკის განვითარებაში, ინფრასტრუქტურის სრულქმნასა და მისი კულტურის დაწინაურებაში.

1994 წლიდან ღვაწლმოსილი პედაგოგი მშობლიურ სკოლას უბრუნდება. მისი ხანგრძლივი ნაყოფიერი, შემოქმედებით მუშაობა სათანადოდ არის დაფასებული. სტუმარ-მასპინძლობის ქართული წესით გამოირჩევა შოთა დიდმანიძის ოჯახი. მისი მეუღლე ქალბატონი ნაილე სიკეთით, სათნოებით, დიდბუნებოვნებითა და სხვა ადამიანური თვისებებით შემკული ადამიანი იყო. დღეს მათი შთამომავლობა ღირსეულად აგრძელებს დიდმანიძეების ოჯახურ ტრადიციებს.

პერსონალია

68 წელი ადამიანის ცხოვრებაში არც ისე ბევრია და არც ისე მცირე. პიროვნების მიერ განვლილი ცხოვრების წლების სიმდიდრე მიღწეული შედეგებით განისაზღვრება. დღეს იბრაიმ დიდმანიძეს შეუძლია თქვას, რომ ჩემი წლები, ჩემი სიმდიდრეა. 68 წლის მანძილზე მას ბევრი რამ გაუკეთებია, მაგრამ ჯერ კიდევ ბევრი აქვს გასაკეთებელი, ახლად არჩეულს საქართველოს იაკობ გოგებაშვილის სახელობის პედაგოგთა კავშირის აჭარის რესპუბლიკური ორგანიზაციის თავმჯდომარის თანამდებობაზე ყოფნის პერიოდში.

დაბადების ადგილი - მდინარე ჭოროხის მარცხენა სანაპიროზე მდებარე თვალწარმტაცი, მდიდარი წარსულის მქონე სოფელი მარადიდი.

გვარი დიდმანიძე ერთერთი წარმოჩენილი გვარია აჭარაში, თავისი წარსულით, ღირსეული ადამიანებით და გაკეთებული საქმეებით.

იბრაიმ დიდმანიძემ ზოგადი განათლება მიიღო მარადიდის 8 წლიან, აჭარისწყლისა და კირნათის საშუალო სკოლებში. 1979 წელს წარჩინებით დაამთავრა ბათუმის შოთა რუსთაველის სახელობის სახელმწიფო პედაგოგიური ინსტიტუტი და მიენიჭა საშუალო სკოლის მათემატიკის მასწავლებლის წოდება. 1979-1980 წლებში იგი მუშაობდა საქართველოს მეცნიერებათა აკადემიის კიბერნეტიკის ინსტიტუტთან არსებულ ბათუმის ლაბორატორიაში. 1980-1982 წლებში იგი იმყოფებოდა სამხედრო სამსახურში. სამხედრო წრეობამ და

გამოცდილებამ დიდი გავლენა მოახდინა მის შემდგომ დაწინაურებაზე საქართველოს კაზაკთა კავშირის ატამანის მრჩევლად და მას მიენიჭა საქართველოს კაზაკთა კავშირის გენერალ-ლეიტენანტის წოდება.

1982-1984 წლებში იგი მუშაობდა ორგანიზაციისა და მართვის პრობლემების საკავშირო სამეცნიერო კვლევითი ინსტიტუტის ბათუმის განყოფილებაში, ჯერ ინჟინრად, შემდეგ კი მეცნიერ-თანამშრომლად.

1984-1988 წლებში იბრამ დიდმანიძე სწავლობდა კიევის, ტარას შევჩენკოს სახელობის სახელმწიფო უნივერსიტეტთან არსებულ ასპირანტურაში, რომლის დამთავრების შემდეგ იგი სამუშაოდ დატოვეს ამავე უნივერსიტეტთან არსებულ სასწავლო-სამეცნიერო ცენტრში მეცნიერ-თანამშრომლად.

1988 წელს მან დაიცვა საკანდიდატო დისერტაცია თემაზე: „ლოკალური ალგორითმები და მათი პარალელური რეალიზაცია“.

1988 წლის სექტემბრიდან მან მუშაობა დაიწყო ბათუმის შოთა რუსთაველის სახელობის სახელმწიფო პედაგოგიურ ინსტიტუტში, მასწავლებლის თანამდებობაზე საათობრივი ანაზღაურების წესით.

1989 წლიდან იგი ასევე მუშაობდა ბათუმის პოლიტექნიკურ ინსტიტუტში ჯერ მასწავლებლად, შემდეგ უფროს მასწავლებლად და დოცენტად, ზოგადტექნიკურ დისციპლინათა კათედრაზე.

1996-2004 წლებში ახალგაზრდა მეცნიერი დააწინაურეს ბათუმის პოლიტექნიკური ინსტიტუტის გამოთვლითი ცენტრის უფროსის თანამდებობაზე.

2003 წელს იგი არჩეული იქნა ბათუმის პოლიტექნიკური ინსტიტუტის რექტორის თანამდებობაზე.

2006-2013 წლებში იბრამ დიდმანიძე მუშაობდა შოთა რუსთაველის სახელმწიფო უნივერსიტეტში, კომპიუტერულ მეცნიერებათა დეპარტამენტის ხელმძღვანელისა და სრული პროფესორის თანამდებობაზე. დღეს იგი აგრძელებს მუშაობას უნივერსიტეტში, ენებისა და საინფორმაციო ტექნოლოგიების ცენტრში.

2005 წელს ფაზისის მეცნიერებათა აკადემიის საერთო კრებამ იბრამ დიდმანიძე აირჩია აკადემიის ნამდვილ წევრად.

2006 წელს დაიცვა სადოქტორო დისერტაცია და 2006 წლის 24 მარტს უმაღლესმა საერთაშორისო აკადემიათშორისმა საატესტაციო კომისიამ იბრამ დიდმანიძეს მიანიჭა დოქტორის სამეცნიერო ხარისხი სპეციალობით 01.01.09. მათემატიკური კიბერნეტიკა.

2011 წლიდან იბრამ დიდმანიძე არის საქართველოს საინჟინრო აკადემიის ნამდვილი წევრი, ხოლო 2016 წლიდან არჩეულია ინოვაციური ტექნოლოგიების საერთაშორისო მეცნიერებათა აკადემიის აკადემიკოსად. ასევე 2016 წლიდან არის განათლების ინფორმატიზაციის საერთაშორისო სამეცნიერო აკადემიის აკადემიკოსი.

მას გამოქვეყნებული აქვს 200-ზე მეტი სამეცნიერო ნაშრომი, მათ შორის ხუთი მონოგრაფია და ერთი სახელმძღვანელო. ბატონ იბრაიმს, სადაც კი უმოღვაწია, ყველგან სიკეთე, სიყვარული და პატივისცემა დაუმსახურებია. მას დიდი სამეგობრო ჰყავს მოსკოვში, კიევში, თბილისსა თუ ბათუმში. იბრამ დიდმანიძეს ერთი დღეც არ უცხოვრია მეგობრების გარეშე. იბრაიმს მეგობრებისგან მინიჭებული აქვს ევლია კაცის სახელი, რომელსაც იგი ერთი წუთითაც არ ღალატობს.

იბრამ დიდმანიძე ჩვენი კუთხის დესპანის როლს ასრულებს კიევში, მოსკოვსა თუ თბილისში. არის მსოფლიოს რამდენიმე ქვეყნის სამეცნიერო ჟურნალების სარედაქციო

კომიტეტის წევრი. მრავალი საერთაშორისო კონფერენციის მონაწილე და საერთაშორისო პროგრამული კომიტეტის წევრი. მისი უშუალო ინიციატივით და ხელმძღვანელობით ტრადიციული ურთიერთობები დამყარდა ბათუმის უნივერსიტეტსა და უკრაინის, მოლდავეთის, ბელორუსიის, ნორვეგიის, ლიტვის და სხვა ქვეყნების მრავალ უნივერსიტეტს შორის. იბრაიმ დიდმანიძის უშუალო ინიციატივითა და ხელშეწყობით ბათუმის უნივერსიტეტში არაერთი კონფერენცია თუ საქველმოქმედო ღონისძიება მოეწყო. მან არაერთ ახალგაზრდას გაუკვალა გზა მეცნიერებაში. მისი ხელმძღვანელობით 16-მა ახალგაზრდამ დაიცვა სადოქტორო დისერტაცია.

ბატონი იბრაიმის წარმატებაში დიდი წვლილი მიუძღვის მის მეუღლეს, ქალბატონ დიდარს. 4 შვილის აღზრდელი დედა, კომპიუტერულ მეცნიერებათა დოქტორი, მოღვაწეობს ბათუმის შოთა რუსთაველის სახელმწიფო უნივერსიტეტში და ახალსოფლის საჯარო სკოლაში წამყვან მასწავლებლად.

დასკვნა, სტატიაში წარმოდგენილი დვაწლმოსილი ადამიანების ნაშრომს დღესაც არ დაუკარგავს მნიშვნელობა, როგორც ილია ბრძანებდა, შვილმა უნდა იცოდეს თუ სად გაჩერდა მამა, რომ იქიდან გააგრძელოს ცხოვრების გზა.



მარადიდი. 2009 წლის 17 ივნისი, შოთა დიდმანიძის 80 წლის იუბილე.

დამოწმებული ლიტერატურა

- აკადემიკოსი ალბერტ შათაშვილი, ბიოგრაფიული ლექსიკონი, გაზეთი „ივერია“, 1886 წლის 8 მარტი.

Developing AI and Machine Learning Models for Business Optimization

Vasyl Martsenyuk, Tomasz Gancarczyk, Aleksandra Klos-Witkowska

University of Bielsko-Biala, Bielsko-Biala, Poland

vmartsenyuk@ubb.edu.pl, tgancarczyk@ubb.edu.pl, aklos@ubb.edu.pl

Abstract

Artificial Intelligence (AI) enables machines to mimic human intelligence. It involves simulating cognitive functions such as learning, reasoning, problem-solving, perception, and language understanding. AI can be programmed to perform tasks that typically require human judgment, enabling automation in various domains.

Machine Learning (ML) is a subset of AI that allows systems to learn from data and improve over time. Instead of being explicitly programmed for every task, ML algorithms identify patterns in historical data and apply these patterns to make predictions or decisions without human intervention. As more data becomes available, the model's accuracy and performance can improve.

Businesses use AI/ML to increase efficiency, reduce costs, and make data-driven decisions. These technologies help streamline operations, eliminate repetitive tasks, enhance customer experiences, and provide insights that inform strategic choices. By leveraging AI/ML, companies can gain a competitive edge in fast-paced markets.

Key words: Machine Learning Model, Automating supply chain logistics, Personalizing marketing strategies, Use tools like Python, Decision Trees

1. Introduction to AI and Machine Learning in Business

Predicting customer behavior. ML models analyze historical purchase patterns, browsing data, and demographics to forecast future actions like buying decisions or churn risk. This helps businesses design personalized engagement strategies.

Automating supply chain logistics. AI systems optimize inventory levels, forecast demand, and manage delivery routes in real-time, reducing delays and operational costs. Predictive analytics also supports proactive risk management in logistics.

Detecting fraud in financial transactions. ML algorithms monitor large volumes of transactions for unusual patterns or anomalies that could indicate fraudulent activities. These systems adapt to new threats, improving security and compliance.

Personalizing marketing strategies. AI tailors content, product recommendations, and promotional offers based on user preferences and behavior. This leads to higher conversion rates and more meaningful customer interactions.

2. Key Concepts in AI and ML

Data: The foundation of ML; must be high quality and relevant. Data is the core ingredient for training machine learning models. Without accurate, clean, and well-structured data, even the most advanced algorithms will produce unreliable results. Effective ML depends on selecting features that capture meaningful relationships and eliminating noise or irrelevant information.

Algorithms: Rules or models that learn from data to make predictions. Algorithms are mathematical procedures that analyze input data, identify patterns, and build predictive or descriptive models. Examples include decision trees, linear regression, support vector machines, and neural networks. The choice of algorithm depends on the nature of the problem and the type of data available.

Training and Testing: The process of building and evaluating models. In training, the model learns from a dataset with known outcomes. Testing evaluates how well the model generalizes to new, unseen data. This

process ensures that the model is not overfitted to the training data and can make accurate predictions in real-world scenarios.

Supervised vs. Unsupervised Learning: Machine learning methods are generally categorized based on whether the data includes labeled outcomes.

Supervised: Labeled data (e.g., predicting sales). In supervised learning, the algorithm is trained on data that includes input-output pairs. It learns to map inputs (features) to specific outputs (labels), such as classifying emails as spam or not, or forecasting monthly sales based on historical trends.

Unsupervised: Unlabeled data (e.g., customer segmentation). Unsupervised learning deals with data that has no predefined labels. The model tries to uncover hidden patterns or groupings, such as clustering customers based on behavior or detecting anomalies in system logs. It's useful for exploratory analysis and pattern discovery.

3. Steps to Develop an ML Model for Business

Define the Business Problem

Clearly identifying the business objective is the first and most crucial step. It ensures the ML project aligns with real organizational goals.

Example: Reduce customer churn.

Churn refers to customers stopping the use of a service or product. Reducing churn can significantly increase long-term profitability.

Translate it into a data science problem:

Predict which customers will leave.

This involves defining a target variable (e.g., “will churn” vs. “won’t churn”) and identifying relevant features (e.g., usage history, support interactions) that can help predict that outcome.

Collect and Prepare Data

High-quality, relevant data is critical for accurate machine learning.

Sources: CRM systems, transaction logs, sensors, etc.

Data may come from multiple business systems. Combining and synchronizing this information can provide a holistic view of customer behavior or operational performance.

Data cleaning, feature selection, normalization.

Preprocessing involves removing errors or inconsistencies, selecting the most relevant data attributes, and standardizing data formats to improve model accuracy and efficiency.

Choose the Right Algorithm

The type of business problem determines the appropriate ML approach.

Regression for continuous outcomes.

Used when the output is a numeric value, such as predicting revenue or temperature.

Classification for categories.

Used when predicting discrete outcomes, such as whether a loan application will be approved or denied.

Clustering for grouping similar data.

Helpful for discovering natural groupings in the data, such as customer segments, without predefined labels.

Train the Model

Model training allows the algorithm to learn patterns from historical data.

Split data into training and testing sets.

Typically, 70–80% of data is used for training and the rest for testing to evaluate how well the model performs on new data.

Use tools like Python, Scikit-learn, or TensorFlow.

Popular libraries offer robust tools for building and experimenting with models. Python is often the language of choice due to its readability and extensive ecosystem.

Evaluate Performance

Ensuring the model works well and delivers value is essential before deployment.

Use metrics like accuracy, precision, recall, F1-score.

Each metric tells you something different about model performance—especially important for imbalanced datasets.

Ensure the model is not overfitting or underfitting.

Overfitting means the model performs well on training data but poorly on new data. Underfitting indicates the model hasn't learned enough to make accurate predictions.

Deploy and Monitor

Once validated, the model can be integrated into real-world systems.

Integrate into business processes.

This could include embedding predictions into dashboards, triggering marketing emails, or automating alerts in supply chain systems.

Monitor for performance and retrain as needed.

Model performance may degrade over time due to changing conditions. Regular updates and retraining help maintain accuracy and relevance.

4. Technical Competencies

AI Techniques:

Natural Language Processing, Neural Networks, Decision Trees.

- **Natural Language Processing (NLP):**

A branch of AI focused on enabling machines to understand, interpret, and generate human language. NLP powers applications like chatbots, sentiment analysis, machine translation, and voice assistants.

- **Neural Networks:**

Computational models inspired by the human brain, capable of identifying complex patterns in large datasets. They are the foundation of deep learning and are used in image recognition, time-series forecasting, and speech processing.

- **Decision Trees:**

A simple yet powerful method for both classification and regression. Decision trees map decision paths in a tree-like structure, making the reasoning behind predictions easy to understand and visualize.

ML Tools:

Python, Jupyter Notebooks, Pandas, Scikit-learn, Keras.

- **Python:**

The most widely used programming language in AI/ML due to its simplicity, versatility, and vast ecosystem of libraries.

- **Jupyter Notebooks:**

An interactive development environment where users can write code, add visualizations, and document their process in a readable and reproducible format—ideal for experimentation and education.

- **Pandas:**

A Python library for data manipulation and analysis. It provides powerful data structures like DataFrames, which make working with structured data more efficient and intuitive.

- **Scikit-learn:**

A robust ML library in Python that supports standard algorithms like regression, classification, clustering, and model evaluation tools. It's widely used for building quick and reliable prototypes.

- **Keras:**

A high-level neural networks API written in Python, capable of running on top of TensorFlow. It simplifies the process of designing and training deep learning models.

Data Visualization:

Tools like Tableau, Power BI, Matplotlib.

- **Tableau:**

A user-friendly business intelligence tool that helps users create interactive dashboards and visual analytics with minimal coding, ideal for data storytelling and stakeholder presentations.

- **Power BI:**

A Microsoft analytics platform that connects to various data sources and enables dynamic reporting, offering integration with Excel and Azure services.

- **Matplotlib:**

A Python plotting library used to create static, animated, and interactive visualizations. It is particularly useful for visualizing trends, model outputs, and data distributions during exploratory data analysis.

5. Leadership Competencies

Problem-Solving

Clearly define the issue and desired outcomes.

Effective problem-solving begins with a precise understanding of the challenge. This includes identifying the root cause, scope, stakeholders involved, and defining measurable success criteria to guide solution development.

Break down complex systems into manageable parts.

Leaders must be able to deconstruct large, interconnected problems into smaller, solvable components. This analytical skill is crucial for addressing technical, operational, and strategic issues in a structured way.

Use data insights to generate alternative solutions.

Rather than relying on intuition alone, strong problem-solvers leverage analytics and predictive models to explore multiple options. Data-driven insights help uncover hidden opportunities and support more objective decision-making.

Decision-Making

Evaluate options using data and predictive models.

Modern leaders must base decisions on evidence, not assumptions. Predictive modeling tools help assess likely outcomes and guide choices by highlighting risks, trends, and correlations that might not be visible otherwise.

Weigh business risks and benefits.

Decision-making often involves trade-offs. Leaders should evaluate the potential gains against associated costs, regulatory impacts, reputational risks, and the feasibility of implementation.

Collaborate with technical and non-technical teams.

Effective decisions require input from diverse perspectives. Leaders bridge communication gaps between business stakeholders and technical experts, ensuring that all voices are considered and decisions align with both technical realities and business goals.

6. Ethical and Strategic Considerations

Bias in Data and Models: Ensure fairness and avoid discrimination.

Bias can unintentionally enter machine learning systems through historical data, feature selection, or model design. If not addressed, it can lead to unfair outcomes, such as discriminatory hiring tools or lending systems. Ensuring fairness involves auditing datasets, using bias detection tools, and incorporating ethical guidelines into model development to promote inclusive, responsible AI.

Data Privacy: Follow GDPR or local regulations

Organizations must protect users' personal data and comply with data protection laws like the EU's General Data Protection Regulation (GDPR) or equivalent national regulations. This includes obtaining informed consent, anonymizing sensitive data, and ensuring secure data storage and transfer. Failing to meet these standards not only violates user trust but can result in severe legal and financial penalties.

Scalability and Cost: Choose solutions that align with business capacity.

AI and ML implementations should be scalable to meet future demand without excessive reengineering. At the same time, organizations must balance technical ambitions with financial realities, considering infrastructure costs, talent requirements, and maintenance. Strategic planning ensures that the solution grows with the business while remaining cost-effective and sustainable.

7. Summary and Takeaways

AI/ML is a powerful tool for business optimization.

Artificial Intelligence and Machine Learning can significantly enhance business operations by uncovering patterns, automating routine tasks, and enabling predictive insights. When applied effectively, these technologies help companies reduce costs, improve customer experiences, and gain a competitive edge through smarter, faster decision-making.

Success depends on a clear business focus, quality data, the right tools, and leadership.

AI/ML initiatives thrive when they are tightly aligned with defined business objectives. Success also requires high-quality, relevant data; appropriate and scalable tools; and strong leadership that can bridge technical capabilities with organizational strategy. These factors must work together to ensure projects deliver measurable impact.

Combine technical knowledge with strong decision-making to drive results

Technical expertise in AI/ML is necessary but not sufficient. Business leaders must also apply sound judgment, strategic thinking, and ethical reasoning to interpret results and act effectively. The synergy of data science and leadership transforms insights into real-world business value.

References:

1. Adekunle, Bolaji Iyanu, et al. "A predictive modeling approach to optimizing business operations: A case study on reducing operational inefficiencies through machine learning." *International Journal of Multidisciplinary Research and Growth Evaluation* 2.1 (2021): 791-799.
2. Adekunle, Bolaji Iyanu, et al. "Machine learning for automation: Developing data-driven solutions for process optimization and accuracy improvement." *Machine Learning* 2.1 (2021).
3. Mishra, Reeta, Padmesh Tripathi, and Nitendra Kumar. "Future Directions in the Application of Machine Learning and Intelligent Optimization in Business Analytics." *Intelligent Optimization Techniques for Business Analytics*. IGI Global, 2024. 49-76.
4. Unhelkar, Bhuvan, and Tad Gonsalves. *Artificial intelligence for business optimization: research and applications*. CRC Press, 2021.
5. Olatunji, Aishat Oluwatoyin. "Machine Learning in Business Process Optimization: A Framework for Efficiency and Decision-Making." *J. Basic Appl. Res. Int* 31 (2025): 18-28.
6. Machireddy, J. R., Sareen Kumar Rachakatla, and P. Ravichandran. "Leveraging AI and machine learning for data-driven business strategy: a comprehensive framework for analytics integration." *African Journal of Artificial Intelligence and Sustainable Development* 1.2 (2021): 12-150.

The production of this document has been possible thanks to the support of the ERASMUS+ project: The transferable training model - the best choice for training IT business leaders (2023-2-PL01-KA220-HED-000179445)

Disclaimer: Co-funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or Fundacja Rozwoju Systemu Edukacji. Neither the European Union nor the granting authority can be held responsible for them.



Project number: 2023-2-PL01-KA220-HED-000179445



**Co-funded by
the European Union**