
საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი
1922 წლიდან
მართვის ავტომატიზებული სისტემები
AUTOMATED CONTROL SYSTEMS
N1(40), 2026
GEORGIAN TECHNICAL UNIVERSITY
ISSN 1512-3979 (PRINT)
EISSN 1512-2174 (ONLINE)
DOI.ORG/10.36073/1512-3979
მართვის TRANSACTIONS
ACS
MIS
ERP
DSS
EMS
WHS
OAS
AI
Founded in 2006

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი
GEORGIAN TECHNICAL UNIVERSITY
ГРУЗИНСКИЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

ISSN 1512-3979 (print)
EISSN 1512-2174 (online)
DOI.org/10.36073/1512-3979

შ რ ო მ ე ბ ი

მართვის ავტომატიზებული სისტემები

TRANSACTIONS

AUTOMATED CONTROL SYSTEMS

Т Р У Д Ы

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

№ 1(40)

ეძღვნება

სტუ-ის „მართვის ავტომატიზებული სისტემების“ კათედრის დაარსების 55 წლის (1971-2026) და მისი სამეცნიერო შრომათა კრებულის 20 წლის (2006-2026) იუბილეს



DEDICATED

to the 55th anniversary (1971–2026) of the founding of the Department of „Automated Control Systems“ at GTU and the 20th anniversary (2006–2026) of its Collection of Scientific works

გამოიცემა 2006 წლიდან

პერიოდულობა:
2 ნომერი წელიწადში

თბილისი-TBILISI-ТБИЛИСИ
2026

სარედაქციო კოლეგია:

- ახობაძე მ., ბუაჩიძე ზ., გასიტაშვილი ზ., გიგინეიშვილი ა., გიორგაშვილი ლ., გოგიჩაიშვილი გ., გოცირიძე ი., თევდორაძე მ., იმნაიშვილი ლ., კაიშაური თ., კაპანაძე დ., კვარაცხელია ვ., კოტრიკაძე ქ., ლომინაძე ნ., ლომინაძე თ., ნატროშვილი დ., ოთხოზორია ნ., პეტრიაშვილი ლ., ჟვანია თ., სურგულაძე გ., ფრანგიშვილი ა., ქართველიშვილი ი., ღურწკაია ზ., ჩხაიძე მ.
- ბოსიკაშვილი ზ., თოფურია ნ., კაკუბავა რ., კიკნაძე მ., მაგრაქველიძე დ., ნარეშელაშვილი გ., სამხარაძე რ., სესაძე ვ., ხუციშვილი ს., შანშიაშვილი ბ., შერმაზანაშვილი ლ., შონია ო., წვერაიძე ზ.
- გერმანია: ბოტჰე კ., ვედეკინდი ჰ., მაიერ-ვეგენერი კ., რეისიგი ვ.
- აშშ: ტრივედი კ. (დუკის უნივერსიტეტი), ჩიხრაძე ბ. (კორპორაცია Apple)
- კანადა: ქაჩიბაია ვ. (IT Industry)
- უნგრეთი: სცთრიქ ი. დებრეცენის უნივერსიტეტი
- რუსეთი: ბაბაიანი რ. (მპი), ვასინი ა.(მსუ), შჩუკინი ბ.(ეროვნ..ბირთვული უნივ.), ფომინი ბ. (სანქტ-პეტერბურგის ელ-ტექნიკური უნივერსიტეტი)

პასუხისმგებელი რედაქტორი: გ. სურგულაძე. სტატიები: http://gtu.ge/Journals/mas/

EDITORIAL BOARD:

- Akhobadze M., Buachidze Z., Chkhaidze M., Gasitashvili Z., Gigineishvili A., Giorgaschvili L., Gogichaishvili G., Goziridze I., Ghurtskaia Z., Imnaishvili L., Kaishauri T., Kapanadze D., Kartvelishvili I., Khutsishvili S., Kotrikadze K., Kvaratskhelia V., Lominadze N., Lominadze T., Natroshvili D., Otkhozoria N., Petriashvili L., Prangishvili A., Surguladze G., Tevdoradze M., Zhvania T.
- Bosikashvili Z., Kakubava R., Kiknadze M., Magrakvelidze D., Nareshelashvili G., Obgadze T., Samkharadze R., Shermazanashvili L., Sesadze V., Shanshiashvili B., Shonia O., Topuria N., Tsveraidze Z., Turkia E.
- *Germany:* Bothe K.(Humboldt univ. Berlin), Meyer-Wegener K. (Erlangen univ.), Reisig W. (Humboldt univ.Berlin), Wedekind H.(Erlangen univ.)
- *USA*: Trivedi K. (Duke University), Chikhradze B. (Apple Co.)
- *Canada:* Kachibaia V. (IT Industry)
- *Hungary:* Sztrik J. (University of Debrecen)
- *Russia:* Babaian R.(IPU), Tshukin B.(Mephi), Vasin A.(MSU), Fomin B.(St-Petersburg, El-Techn.Univ.)

Executive Editor: G. Surguladze. **References: http://gtu.ge/Journals/mas/jurnali_web/referE.html**

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

- Ахобадзе М., Буачидзе З., Гаситашвили З., Гигинеишвили А., Гиоргашвили Л., Гогичаишвили Г., Гоциридзе И., Гурцкая З., Имнаишвили Л., Каишаури Т., Картвелишвили И., Капанадзе Д., Кикнадзе М., Кварацхелия В., Котрикадзе К., Ломинадзе Н., Ломинадзе Т., Натрошвили Д., Прангишвили А. Сургуладзе Г., Тевдорадзе М., Чхаидзе М.
- Босикашвили З., Какубава Р., Кикнадзе М., Маграквелидзе Д., Нарешелашвили Г., Обгадзе Т., Самхарадзе Р., Сесадзе В., Топурия Н., Туркия Е., Шаншиашвили Б., Шермазанашвили Л., Шония О., Цвераидзе З., Цинцадзе А.
- *Германия:* Ботэ К., Рейсиг В. (Гумболдт унив. Берлин), Ведекинд Х., Меиер-Вегенер К. (Ерланген унив.)
- *США:* Триведи К. (Университет Дуке), Чихрадзе Б. (Apple корпорация)
- *Канада*: Качибая В. (IT Industry)
- *Россия:* Бабаян Р. (ИПУ), Васин А. (МГУ), Щукин Б. (МИФИ), Фомин Б. (ЛЭТИ.С-т Петербург)

Ответственный редактор: Г. Сургуладзе. **Статьи: http://gtu.ge/Journals/mas/jurnali_web/referE.html**

ISSN 1512-3979 (print), EISSN 1512-2174 (online), DOI.org/10.36073/1512-3979

© გამომცემლობა „სტუ-ის IT კონსალტინგის სამეცნიერო ცენტრი“, 2026
Publishing House „IT Consulting Scientific Center of Georgian TU”, 2026
Издательство „Научный центр ИТ-консалтинга Грузинского ТУ“, 2026

შინაარსი - CONTENTS – СОДЕРЖАНИЕ

† **აკადემიკოსი გოჩა ჩოგოვაძე (85 წლისაა) - ხსოვნის გვრდი** 5

- სტუ-ის ინფორმატიკისა და მართვის სისტემების ფაკულტეტის **სამეცნიერო ფორუმი** *„ციფრული ტექნოლოგიების განვითარების თანამედროვე ტენდენციები“,* მიძღვნილი აკადემიკოს გოჩა ჩოგოვაძის დაბადების 85-ე და მის მიერ დაარსებული „მართვის ავტომატიზებული სისტემების კათედრის 55-ე წლისთავისადმი. ***მისალმებები*** // **Scientific Forum** of the Faculty of Informatics and Control Systems of GTU *"Modern Trends in the Development of Digital Technologies*", dedicated to the 85th anniversary of the birth of Academician Gocha Chogovadze and the 55th anniversary of the Department of "Automated Control Systems" founded by him. ***GREETINGS*** // **Научный форум** факультета Информатики и систем управления ГТУ *„Современные тенденции развития цифровых технологий"*, посвященный 85-летию со дня рождения академика Гочи Чоговадзе и 55-летию основанного им кафедры „Автоматизированных систем управления". ***ПРИВЕТСТВИЯ*** 7

- აკადემიკოსი გოჩა ჩოგოვაძე – მეცნიერი, დიპლომატი და საზოგადო მოღვაწე (ისტორიული ფაქტები და მოვლენები). დავით გურგენიძე, თამარ ლომინაძე, თალიკო ჟვანია // Academician Gocha Chogovadze – Scientist, Diplomat and Public Figure (Historical Facts and Events). Gurgenidze David, Lominadze Tamar, Zhvania Taliko // Академик Гоча Чоговадзе – учёный, дипломат и общественный деятель (Исторические факты и события). Гургенидзе Давид, Ломинадзе Тамар, Жвания Талико 13

- სტუ-ის „მართვის ავტომატიზებული სისტემების“ კათედრის მეცნიერული და აკადემიური შედეგები 55 წლის მანძილზე. გია სურგულაძე, ლილი პეტრიაშვილი, გულბაათ ნარეშელაშვილი, მაია ოხანაშვილი, მარინა კაშიბაძე // SCIENTIFIC AND ACADEMIC ACHIEVEMENTS OF THE DEPARTMENT OF AUTOMATED CONTROL SYSTEMS of GTU OVER 55 YEARS. Surguladze Gia, Petriashvili Lili, Nareshelashvili Gulbaat, Okhanashvili Maia, Kashibadze Marina // НАУЧНЫЕ И АКАДЕМИЧЕСКИЕ ДОСТИЖЕНИЯ КАФЕДРЫ АСУ ГТУ ЗА 55 ЛЕТ. Сургуладзе Г., Петриашвили Л., Нарешелашвили Г., Оханашвили М., Кашибадзе М.. 23

თეორიული ინფორმატიკა –THEORETICAL INFORMATICS - ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ИНФОРМАТИКА

- არაწრფივი დინამიკური სისტემების სტრუქტურული იდენტიფიკაცია უკუკავშირიანი ბლოკურად-ორიენტირებული მოდელებით. ბესარიონ შანშიაშვილი, გიორგი შანშიაშვილი // STRUCTURE IDENTIFICATION OF NONLINEAR DYNAMIC SYSTEMS USING BLOCK-ORIENTED MODELS WITH FEEDBACK. Shanshiashvili Besarion, Shanshiashvili Giorgi // СТРУКТУРНАЯ ИДЕНТИФИКАЦИЯ НЕЛИНЕЙНЫХ ДИНАМИЧЕСКИХ СИСТЕМ С БЛОЧНО-ОРИЕНТИРОВАННЫМИ МОДЕЛЯМИ С ОБРАТНОЙ СВЯЗЬЮ. Шаншиашвили В., Шаншиашвили Г. 31

პრაქტიკული ინფორმატიკა – PRACTICAL INFORMATICS - ПРАКТИЧЕСКАЯ ИНФОРМАТИКА

- Oracle Database-ის მონაცემთა დაშიფვრის მექანიზმები: TDE და VPD-ის შედარებითი ანალიზი და პრაქტიკული გამოყენება. იოსებ ქართველიშვილი, გიორგი კუჭავა, დავით მეგრელიშვილი // DATA ENCRYPTION MECHANISMS IN ORACLE DATABASE: COMPARATIVE ANALYSIS AND PRACTICAL APPLICATION OF TDE AND VPD. Kartvelishvili Ioseb, Kuchava Giorgi, Megrelishvili Davit // МЕХАНИЗМЫ ШИФРОВАНИЯ ДАННЫХ В ORACLE DATABASE: СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ И ПРАКТИЧЕСКОЕ ПРИМЕНЕНИЕ TDE И VPD. Картвелишвили И., Кучава Г., Мегрелишвили Д. 39

- მანქანური მეხსიერების დაკარგვის დიაგნოსტირება Java-აპლიკაციებში. ლელა გაჩეჩილაძე // DIAGNOSING COMPUTER MEMORY LOSS IN JAVA APPLICATIONS. Gachechiladze Lela // ДИАГНОСТИКА ПОТЕРИ КОМПЬЮТЕРНОЙ ПАМЯТИ В JAVA-ПРИЛОЖЕНИЯХ. Гачечиладзе Лела. 47

ხელოვნური ინტელექტი – ARTIFICIAL INTELLIGENCE - ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ

- ჭკვიანი ქალაქის მართვის ავტომატიზებული სისტემების მოდელი ინტერნეტ-ნივთების და ხელოვნური ინტელექტის ტექნოლოგიების ინტეგრაციით. გიორგი კუჭავა, იოსებ ქართველიშვილი // MODEL OF AUTOMATED CONTROL SYSTEM FOR SMART CITY WITH INTEGRATION OF IoT AND AI TECHNOLOGIES. Kuchava Giorgi, Kartvelishvili Iosebi // МОДЕЛЬ АВТОМАТИ-ЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ УМНЫМ ГОРОДОМ С ИНТЕГРАЦИЕЙ ТЕХНОЛОГИЙ ИНТЕРНЕТА ВЕЩЕЙ И ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА. Кучава Г., Картвелишвили И. 54

- IoT-სენსორებზე დაფუძნებული ჭკვიანი პარკინგის სისტემის არქიტექტურა: წინასწარი რეზერვირების მოდელი თბილისის ურბანული გარემოს კონტექსტში. გიორგი კუჭავა, იოსებ ქართველიშვილი, გიორგი ჭანტურია // ARCHITECTURE OF A SMART PARKING SYSTEM BASED ON IOT SENSORS: A PRE-RESERVATION MODEL IN THE CONTEXT OF TBILISI'S URBAN ENVIRONMENT. Kuchava Giorgi, Kartvelishvili Iosebi, Tchanturia Giorgi // АРХИТЕКТУРА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ПАРКОВКИ НА ОСНОВЕ IOT-ДАТЧИКОВ: МОДЕЛЬ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОГО РЕЗЕРВИРОВАНИЯ В КОНТЕКСТЕ ГОРОДСКОЙ СРЕДЫ ТБИЛИСИ. Кучава Г., Картвелишвили И., Чантурия Г. — 60
- მანქანური სწავლების ამოცანებისთვის ღია მონაცემთა რესურსების მოძიებისა და შერჩევის თანამედროვე მიდგომები. სოფიო ბარნოვი, დალი მაგრაქველიძე, მაკა ტაბატაძე // MODERN APPROACHES TO THE SEARCH AND SELECTION OF OPEN DATA RESOURCES FOR MACHINE LEARNING TASKS. Barnovi Sophio, Magrakvelidze Dali, Tabatadze Maka // СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ К ПОИСКУ И ОТБОРУ ОТКРЫТЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ РЕСУРСОВ ДЛЯ ЗАДАЧ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ. Барнови С., Маграквелидзе Д., Табатадзе М. — 67
- ჭკვიანი ქალაქის ინფრასტრუქტურაში ასფალტის დეფორმაციის რეოლოგიური მოდელირება და მისი პროგნოზული ანალიზი. მაკა მანწკავა, შალვა ჭოხონელიძე // RHEOLOGICAL MODELING AND PREDICTIVE ANALYSIS OF ASPHALT DEFORMATION IN SMART CITY INFRASTRUCTURE. Mantskava Maka, Chokhonelidze Shalva // РЕОЛОГИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ПРОГНОСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ДЕФОРМАЦИИ АСФАЛЬТА В ИНФРАСТРУКТУРЕ УМНОГО ГОРОДА. Манцкава М., Чохонелидзе Ш. — 75
- უნივერსიტეტის პროცესების ავტომატიზაციისათვის ხმოვანი აქტივაციის ხელოვნური ინტელექტის ასისტენტის ღრუბელზე დაფუძნებული არქიტექტურა. მიკოლა გრიშინი, ნინო თოფურია // A CLOUD-BASED VOICE AI ASSISTANT ARCHITECTURE FOR UNIVERSITY PROCESS AUTOMATION. Grishin Mikola, Topuria Nino // ОБЛАЧНАЯ АРХИТЕКТУРА ГОЛОСОВОГО AI-АССИСТЕНТА ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ УНИВЕРСИТЕТСКИХ ПРОЦЕССОВ. Гришин М., Топурия Н. — 83
- ციფრული პერსონალური დღიურის ვებ აპლიკაციის დეველოპმენტი Python/Django ტექნოლოგიის გამოყენებით. ინგა აბულაძე, მერაბ მოკვერაშვილი // DEVELOPMENT OF A DIGITAL PERSONAL DIARY WEB APPLICATION USING PYTHON/DJANGO TECHNOLOGY. Abuladze Inga, Mokverashvili Merab // РАЗРАБОТКА ВЕБ ПРИЛОЖЕНИЯ ДЛЯ ЦИФРОВОГО ЛИЧНОГО ДНЕВНИКА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕХНОЛОГИЙ PYTHON/DJANGO. Абуладзе И., Мокверашвили М. — 90
- B2B სისტემების დისტრიბუტორი კომპანიის ბიზნეს-პროცესების მოდელირება და იმიტაციური ანალიზი პეტრის ქსელებით. მერი არხოშაშვილი // MODELING AND SIMULATION ANALYSIS OF BUSINESS PROCESSES OF A B2B SYSTEMS DISTRIBUTION COMPANY USING PETRI NETS. Arkhoshashvili Meri // МОДЕЛИРОВАНИЕ И ИМИТАЦИОННЫЙ АНАЛИЗ БИЗНЕС-ПРОЦЕССОВ КОМПАНИИ-ДИСТРИБЬЮТОРА B2B-СИСТЕМ С СЕТЯМИ ПЕТРИ. Архошашвили М. — 97
- AI-ს ბაზაზე ოპტიკური კოჰერენტული ტომოგრაფიის გამოსახულებათა ანალიზი ნეოვასკულური ასაკობრივი მაკულარული დეგენერაციის პროგრესირების მონიტორინგისთვის: წინასწარი მიზანშეწონილობის კვლევა. მარიამ სურგულაძე // AI-BASED OPTICAL COHERENCE TOMOGRAPHY IMAGE ANALYSIS FOR MONITORING NEOVASCULAR AGE-RELATED MACULAR DEGENERATION PROGRESSION: A PRELIMINARY FEASIBILITY STUDY. Surguladze Mariam // АНАЛИЗ ИЗОБРАЖЕНИЙ ОПТИЧЕСКОЙ КОГЕРЕНТНОЙ ТОМОГРАФИИ НА ОСНОВЕ ИИ ДЛЯ МОНИТОРИНГА ПРОГРЕССИРОВАНИЯ НЕОВАСКУЛЯРНОЙ ВОЗРАСТНОЙ МАКУЛЯРНОЙ ДЕГЕНЕРАЦИИ: ПИЛОТНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ. Сургуладзе М. — 103

ტექნიკური ინფორმატიკა – TECHNICAL INFORMATICS – ТЕХНИЧЕСКАЯ ИНФОРМАТИКА

- ვენტილაცია და მისი საშუალებით ჰაერისა და ტემპერატურის დანახარჯების განსაზღვრა. გურამ მურჯიკნელი, იზოლდა ყურაშვილი, მარინე ქოზაშვილი, თამარ ქოზაშვილი // VENTILATION AND THE DETERMINATION OF AIRFLOW AND TEMPERATURE REQUIREMENTS THROUGH VENTILATION. Murjikneli Guram, Kurashvili Izolda, Kozashvili Marine, Kozashvili Tamar // ВЕНТИЛЯЦИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ С ЕЕ ПОМОЩЬЮ РАСХОДОВ ВОЗДУХА И ТЕМПЕРАТУРЫ. Мурджикнели Г., Курашвили И., Козашвили М., Козашвили Т. — 108

ხსოვნის გვერდი – MEMORIAL PAGE – СТРАНИЦА ПАМЯТИ

- † **პროფ. თამაზ შეროზია** – გ. ჩოგოვაძის პირველი დიპლომანტი და ასისტენტი *მას*-კათედრაზე — 114
- ავტორთა საყურადღებოდ // To Authors Attention ! — 116

2026 წლის 11 იანვარს გოჩა ჩოგოვაძეს 85 წელი შეუსრულდებოდა - ნათელი მის ხსოვნას !



აკადემიკოსი გოჩა ჩოგოვაძე
(1941 – 2022)

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის რეფორმატორი რექტორი (1988-1994), იუნესკოს (პარიზი) კულტურისა და განათლების დეპარტამენტის დირექტორი (1981-1986), დიდი საზოგადო და სახელმწიფო მოღვაწე, საქართველოს იუნესკოს საქმეთა ეროვნული კომისიის ვიცე-პრეზიდენტი (2004-2012), ევროპის და რუსეთის მრავალი უნივერსიტეტის საპატიო დოქტორი და საერთაშორისო აკადემიების წევრი, დიპლომატი (1994-2004), სტუ-ს „მართვის ავტომატიზებული სისტემების“ (1971) და სტუ-ს UNESCO-ს „ინფორმაციული საზოგადოების“ (2003) კათედრების დამაარსებელი, მათი პირველი გამგე. საქართველოს მეცნიერებათა ეროვნული აკადემიის ნამდვილი წევრი (1994-დან), ტექნიკის მეცნიერებათა დოქტორი (1975) - საპატიო პროფესორი - გოჩა გიორგის ძე ჩოგოვაძე - მრავალი სამეცნიერო წიგნის, პროექტისა და სტატიის ავტორი, მრავალი სტუდენტის აღმზრდელი და ახალგაზრდა მეცნიერის „სამეცნიერო ნათლია“, ქართული და უცხოური ლიტერატურის, პოეზიის, მუსიკისა და სიმღერის დიდი მოყვარული, საერთაშორისო მეგობრობის დიდოსტატი, სუფრის ორიგინალური თამადა, მოსიყვარულე და გულისხმიერი მეუღლე, მამა და ბაბუა, მუდამ სიკეთის მთესველი *„ქართველი ფაუსტი"*.

Academician Gocha Chogovadze
(1941 – 2022)

Reformer Rector of the Georgian Technical University (1988-1994), Director of the Department of Culture and Education of UNESCO (Paris) (1981-1986), a great public figure and statesman, Vice-President of the National Commission for UNESCO Affairs of Georgia (2004-2012), Honorary Doctorate at multiple European and Russian Universities and member of international academies, diplomat, Ambassador Extraordinary and Plenipotentiary of Georgia to France and the Kingdom of Spain (1994-2004), GTU "Automated Control Systems" (1971) and GTU UNESCO "Information Society" (2003) the founder of the departments, their first governor. Full member of the National Academy of Sciences of Georgia (since 1994), Doctor of Technical Sciences (1975) - Honorary Professor - Gocha Chogovadze - author of many scientific books, projects and articles, educator of many students and "scientific godfather" of young scientists, A great lover of Georgian and foreign literature, poetry, music and song, a great master of international friendship, a loving and caring husband, father and grandfather, always a sower of kindness *"georgian Faust"*.

Академик Гоча Чоговадзе
(1941 – 2022)

Ректор-реформатор Грузинсого Технического Университета (1988-1994), директор департамента Культуры и Образования ЮНЕСКО (Париж 1981-1986), общественный и государственный деятель, вице-президент Национальной комиссии по делам ЮНЕСКО Грузии (2004-2012), почетный доктор и действительный член международных академий многих европейских и российских университетов, дипломат, Чрезвычайный и Полномочный Посол Грузии во Франции и Королевстве Испания (1994-2004), Основатель кафедр «Автоматизированные системы управления» (1971) и ЮНЕСКО «Информационное общество» (2003) в Грузинском Техническом Университете, Действительный член Национальной Академии Наук Грузии (с 1994), доктор технических наук (1975) и почетный профессор Информатики - *Гоча Георгиевич Чоговадзе* - автор многих научных книг, проектов и статей, воспитатель многих студентов и молодых ученых, их руководитель и „научный крестный отец", большой любитель и знаток грузинской и зарубежной литературы, поэзии, музыки и песни, гроссмейстер интернациональных дружеских отношений, оригинальный руководитель („тамада") стола, любящий и заботливый муж, отец и дедушка, всегда сеятель добра „*грузинский Фауст*"

მისალმებები – GREETINGS - ПРИВЕТСТВИЯ

მივესალმები საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ინფორმატიკისა და მართვის სისტემების ფაკულტეტის სამეცნიერო ფორუმს „ციფრული ტექნოლოგიების განვითარების თანამედროვე ტენდენციები“, რომელიც ეძღვნება საქართველოს მეცნიერებათა ეროვნული აკადემიის ნამდვილი წევრის, სტუ-ის რექტორის (1988-1994 წწ.), ბატონი გოჩა ჩოგოვაძის ნათელ ხსოვნას, მისი დაბადების 85-ე წლისთავთან დაკავშირებით, მის მიერ 1971 წ. დაარსებული „მართვის ავტომატიზებული სისტემების“ კათედრის (პროგრამული ინჟინერიის დეპარტამენტის) 55-ე წლისთავს, აგრეთვე პროფესორ გიორგი გოგიჩაიშვილის დაბადების 85-ე წლისთავის იუბილეს, როგორც ამავე კათედრის გამგეს 1981-2015 წლებში ! ამ ხნის განმავლობაში კათედრამ (და დეპარტამენტმა) დიდი წვლილი შეიტანა ქართული საინჟინრო სკოლის ჩამოყალიბებასა და განვითარებაში ინფორმატიზაციის, კომპიუ-ტინგის, პროგრამული ინჟინერიისა და ხელოვნური ინტელექტის სფეროებში. ვულოცავ დეპარტამენტის მთელ კოლექტივს ამ საიუბილეო თარიღს და ვუსურვებ წარმატებებს, კვლავაც ეღვაწოთ ჩვენი ქვეყნის უკეთესი მომავლისათვის.



აკადემიკოსი დავით გურგენიძე,
სტუ-ს რექტორი

მოგესალმებით ძვირფასო კოლეგებო, დამსწრე საზოგადოება, სტუდენტებო და ჩვენი ფაკულტეტის კურსდამთავრებულებო. დღევანდელი, სამეცნიერო ფორუმის მთავარი მიზანი სტუ-ის ინფორმატიკის და მართვის სისტემების ფაკულტეტის ორსაუკუნოვანი განვითარების მანძილზე აკადემიკოს გოჩა ჩოგოვაძის და მისი 1971 წელს დაარსებული მართვის ავტომატიზებული სისტემების კათედრის როლის და შედეგების გაანალიზება და ციფრული ტექნოლოგიების განვითარების ახალი ტენდენციების განსაზღვრაა. ბატონმა გოჩამ, მისი სტუ-ის რექტორობის პერიოდში საქართველოს პოლიტექნიკური ინსტიტუტი გარდაქმნა საერთაშორისო დონის ტექნიკურ უნივერსიტეტად და ახალგაზრდა თაობისთვის საფუძველი ჩაუყარა საინჟინრო განათლების და მეცნიერული კვლევის სამომავლო ფუნდამენტს. მეც სწორედ ამ კათედრის კურსდამთავრებული ვარ, აქ დავიცავი დისერტაცია პროფ. გ. გოგიჩაიშვილის ხელმძღვანელობით, ვულოცავ მას დაბადების 85 წლის იუბილეს, ვუსურვებ მომავალშიც მხნედ და წარმატებებით ყოფნას. დღევანდელ ფორუმზე ვისაუბრებთ იმ ინოვაციურ პროექტებსა და მიღწევებზე, რომლებიც ხორციელდება „მართვის ავტომატიზებული სისტემების (პროგრამული ინჟინერიის)“ და იუნესკოს „საინფორმაციო საზოგადოების“ კათედრებზე ჩვენი კოლეგების და სტუდენტი ახალგაზრდობის ერთობლივი ძალისხმევით.



პროფესორი თამარ ლომინაძე, სტუ-ის
ვიცე-რექტორი სამეცნიერო დარგში,
სტუ-ის იუნესკოს კათერის გამგე

ინფორმატიკისა და მართვის სისტემების ფაკულტეტის დიდი კოლექ-ტივის სახელით მივესალმებით დღევანდელი სამეცნიერო ფორუმის დამსწრე საზოგადოებას, სტუდენტებს და კურსდამთავრებულებს. ფაკულტეტი 70-ზე მეტი წლისაა და ისტორიულად მიმდინარეობს თაობათა ცვლა. ამიტომაც დღევანდელი ფორუმის ერთ-ერთი მნიშვნელოვანი მიზანია ჩვენი ახალი თაობის სტუდენტთა და კოლეგების ინფორმირება უნივერსიტეტის ისეთ ღირსეულ ადამიანებზე, როგორიც იყო აკადემიკოსი გოჩა ჩოგოვაძე, მართვის ავტომატიზებული სისტემების (*მას*) და სტუ-ის იუნესკოს საინფორმაციო საზოგადოების კათედრების დამაარსებელი და მათი პირველი გამგე, იუნესკოს განათლების და კულტურის დეპ-ის უფროსი (პარიზი, 1981-1986), სტუ-ის ექს-რექტორი



პროფესორი თალიკო ჟვანია, სტუ-ის
ინფორმატიკის და მართვის სისტემების
ფაკულტეტის დეკანი

(1988-1994), დიპლომატი, საფრანგეთის და ესპანეთის ელჩი (1994-2004) და ა.შ. მისი ხელმძღვანელობით ***მსს***-კათედრაზე 1971 წლიდან ჩაეყარა სფუძვლები: საწარმოო პროცესების და პროგრამირების ავტომატიზაციის, მონაცემთა ბაზების თეორიის, ხელოვნური ინტელექტის და კიბერუსაფრთხოების სამეცნიერო მიმართულებებს. დღეს ინფორმატიკის ფაკულტეტზე ფუნქციონირებს 12 აკადემიური დეპარტამენტი, რამდენიმე მათგანი სწორედ გოჩა ჩოგოვაძის ზემოხსენებულ მიმართულებათა საფუძველზე ჩამოყალიბდა და ვითარდება. ***მსს***-კათედრა დაამთავრა 4000-ზე მეტმა სტუდენტმა „მონაცემთა დამუშავებისა და მართვის ავტომატიზებული სისტემების“ სპეციალობით. მრავალი მათგანი მოღვაწეობს აშშ-ში (კალიფორნია), კანადაში, ევროპაში (დიდი ბრიტანეთი, გერმანია, უნგრეთი და სხვ) და ა.შ. მრავალ მათგანს საქართველოშიც აქვს წარმატებული კარიერა სახელმწიფო, კერძო, პოლიტიკურ, ბიზნესისა და საუნივერსიტეტო სტრუქტურებში. დღეს ბევრი ჩვენი სტუმარია, მადლობა მათ ! განსაკუთრებით მინდა აღვნიშნო ასევე საქართველოს ეროვნული აკადემიის წევრ-კორესპონდენტის, ***მსს***-კათედრის ემერიტუსი პროფესორის გიორგი გოგიჩაიშვილის დამსახურება, რომელიც 1981-2015 წლებში იყო ამ კათედრის გამგე (გ. ჩოგოვაძის გადასვლის შემდეგ იუნესკოში). მისი დიდი წვლილია ***მსს***-კათედრაზე პირველი ლექციების ჩატარება და განვითარება ხელოვნური ინტელექტის, კერძოდ სიტუაციათა მართვის სისტემების სფეროში. წელს მას 85 წელი შეუსრულდა და ვულოცავთ ამ იუბილეს, ვუსურვებთ ჯანმრთელობას და მომავალ წარმატებებს. და ბოლოს, ***მსს***-კათედრის მესამე გამგეს (პროგრამული ინჟინერიის დეპარტამენტის ხელმძღვანელს) პროფ. გია სურგულაძეს, როგორც აკად. გ. ჩოგოვაძის „სამეცნიერო მემკვიდრეს“, ვულოცავთ წელს 75 წლის იუბილეს და მისი ინიციატივით ინფორმატიკის ფაკულტეტზე დაფუძნებული საერთაშორისო შრომათა კრებულის „მართვის ავტომატიზებული სისტემების“ – 20 წლის იუბილეს (2006-2026). ამ თარიღთან დაკავშირებით ბატონი გია რექტორის წარდგინებით და უნივერსიტეტის აკადემიური საბჭოს გადაწყვეტილებით დაჯილდოვდა „ოქროს მედლით“ და საპატიო დიპლომით – სტუ-ის წინაშე გაწეული განსაკუთრებული ღვაწლისა და სამეცნიერო-პედაგოგიური მოღვაწეობისთვის. დასასრულს მინდა ჩვენი დეკანატის სახელით მივულოცო „პროგრამული ინჟინერიის“ დეპარტამენტის კოლეგებს, ***მსს***-კათედრის კურსდამთავრებულებს კათედრის 55-წლის იუბილე და ვუსურვო მომავალი წარმატებები.

ბათუმის შოთა რუსთაველის სახელმწიფო უნივერსიტეტის სახელით გულითადად გილოცავთ სტუ-ის მართვის ავტომატიზებული სისტემების კათედრის დაარსების 55-ე წლის იუბილეს, მისი დამაარსებლის, აკადემიკოს გოჩა ჩოგოვაძის ნათელი ხსოვნის და აკადემიის წევრ-კორესპონდენტის გიორგი გოგიჩაიშვილის 85-წლის იუბილეს.



სტუ-ს მართვის ავტომატიზებული სისტემების კათედრა ერთ-ერთი პირველი კათედრაა, რომელიც წარმატებით ემსახურება თანამედროვე ტექნოლოგიების მეცნიერული შესწავლის, დანერგვისა და გამოყენების საკითხებს. გვინდა გამოვხატოთ ღრმა პატივისცემა და მადლიერების გრძნობა იმ თანადგომისა და უანგარო დახმარებისათვის, რასაც სტუ-ის ინფორმატიკის და მართვის სისტემების ფაკულტეტი, მისი კათედრები და პირადად ბატონი გოჩა ჩოგოვაძე და გიორგი გოგიჩაიშვილი იჩენდნენ ჩვენი, ბათუმის უნივერსიტეტის კომპიუტერულ მეცნიერებათა დეპარტამენტის მიმართ. დღესაც აქტიური სამეცნიერო კავშირები გვაქვს იმს-ფაკულტეტთან და პროგრამული ინჟინერიის დეპარტამენტთან. გისურვებთ შემდგომ წარმატებებს და მიღწევებს იმ დიდ და საპატიო საქმეში, რასაც უკვე 55 წელია ემსახურებით !

იბრაიმ დიდმანიძე, ბათუმის შოთა რუსთაველის
სახელმწიფო უნივერსიტეტის ასოც. პროფესორი.
2002-2005 წლებში სტუ-ის ბათუმის პოლიტექნიკური
ინსტიტუტის რექტორი

დავით საყვარელიძე - რუსთაველის თეატრის მთავარი რეჟისორი და იუნესკოს კათედრის კონსულტანტი. მისი იდეაა თეატრალურ სფეროში ციფრული ტექნოლოგიების ფართოდ დანერგვა და სტუდენტური კადრების მომზადების აუცილებლობა, რაც თანამედროვეობის მნიშვნელოვანი გამოწვევაა მთელ მსოფლიოში. იგი შეხვედრია გოჩა ჩოგოვაძეს პარიზში მოღვაწეობისას და ახსოვს იმ დროს ბატონი გოჩას მხარდაჭერა და დიდი ენთუზიაზმი ქართული კულტურის და ხელოვნების ნიმუშების გასაცნობად მსოფლიო პროგრესული საზოგადოებისათვის - ახალი ციფრული ტექნოლოგიების დახმარებითაც.





სტუდენტები: ნიკოლოზ კალმახელიძე, გიორგი შაკიაშვილი, თეოდორე დარჩია, ნინო მიმინოშვილი, დათო ჯაფარიძე, ლუკა ფირცხალავა და მარიამ წაქაძე.

ინფორმატიკის ფაკ-ის კომპიუტერული მეცნიერების (ინგლისური და ქართული სექტორის) სტუდენტთა ჯგუფი, რომლებიც აქტიურად მუშაობენ ინოვაციურ პროექტზე ქართული კულტურის მემკვიდრეობის შენარჩუნებისა და აღდგენა /განვითარების საკითხებზე. კერძოდ, დღეს ისინი წარმოადგენენ ნიკო ფიროსმანის ერთ-ერთი სამხატვრო შედევრის გაციფრულებულ აუდიო-ვიზუალურ ვერსიას (მისი გაციფრულების პრობლემების გადაწყვეტით). მომავლისთვის დაგეგმილია ასეთი სამუშაოების გაფართოება და თეატრებში საშემსრულებლო ხელოვნების სისტემების შექმნით და დანერგვით – ბატონ დავით საყვარელიძის თანახელმძღვანელობით.

ლევან ხეთაგური სტუ-ის იუნესკოს კათედრის პროფესორი, კოორდინატორი, ხელოვნებათ - მცოდნეობის დოქტორი

სტუ-ის იუნესკოს კათედრის ახალი მიმართულებაა -„კულტურა და ტექნოლოგიები“, რაც დაკავშირებულია თანამედროვე საინფორმაციო ტექნოლოგიებისა და ხელოვნური ინტელექტის მეთოდების ინტეგრაციასთან. ჩვენ ფაკულტეტზე შექმნილია ყველა პირობა ახალი თაობის, კულტურასა და ხელოვნებაზე ორიენტირებული სპეციალისტების (სტუდენტების) გამოსაშვებად. დღეს წარმოგიდგენთ ერთ ასეთ პრეზენტაციას, რომელიც ჩვენი სტუდენტების ძალისხმევით და რუსთაველის თეატრის მთავარი რეჟისორის, ბატონი დავით საყვარელიძის კონსულტაციითაა შესრულებული.

ბიზნესმენი ირაკლი გოჩას ძე ჩოგოვაძე, საქართველოს ეკონომიკური განვითარების მინისტრი (2005-2006)



მოგესალმებით ძვირფასო საზოგადოება, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ხელმძღვანელობა, ინფორმტიკის და მართვის სისტემების ფაკულტეტის პროფესურა, *მას*-კათედრის (პროგრამული ინჟინერიის დეპარტამენტის) კურსდამთავრებულებო და სტუდენტებო. უღრმესად მადლობელი ვარ თქვენი, რომ დღეს, 20 მაისს გოჩა ჩოგოვაძის დაარსებული კათედრის საიუბილეო თარიღს ესწრებით. მამაჩემს შვილივით უყვარდა ეს კათედრა და სიცოცხლის ბოლომდე მისი ერთგული იყო. რომელ კონტინენტზე თუ ქვეყნაში არ უნდა ყოფილიყო, ყოველთვის ახერხებდა, რომ ჩამოფრენილიყო და ეს დღე თბილისში, თავისი კათედრის და მის გაზრდილ კოლეგებთან გაეტარებინა. მეც მაქვს პატივი გავაგრძელო მამის კეთილი საქმეები და, როგორც მეცნატმა, ხელი შევუწყო სტუ-ის ინორმატიკის ფაკულტეტს, მის სტუდენტობას უახლესი ტექნოლოგიების ათვისებაში ევროპისა და სხვა მოწინავე ქვეყნების უნივერსიტეტებში, ინოვაციური პროექტების შესრულებასა და დანერგვაში ჩვენი ქვეყნის საკეთილდღეოდ.



აკადემიკოსი
არჩილ ფრანგიშვილი,
ტ.მ.დ., პროფესორი,
სტუ-ს რექტორი (2009-2020)

მოგესალმებით ძვირფასო კოლეგებო, სტუდენტებო და კურსდამთავრებულებო, ფორუმის სტუმრებო. 20 მაისი ტრადიციულად მნიშვნელოვანი დღე იყო აკადემიკოს გოჩა ჩოგოვაძის ცხოვრებაში, *მას*-კათედრის 50 წლისთავი (2021) ერთად აღვნიშნეთ, რომელიც მის 80 წლის იუბილეს დაემთხვა. სამწუხაროდ, დღეს იგი ჩვენს გვერდითაა - სულიერად, ნათელში იყოს ! ბატონი გოჩა უნიკალური და ძლიერი პიროვნება იყო, დიდი საზოგადო მოღვაწე და გამოჩენილი მეცნიერი. მან შეძლო ჩვენი პოლიტექნიკური ინსტიტუტისა და ფაკულტეტისთვის მსოფლიო აღიარება მოეტანა, მოსკოვის, პეტერბურგის და კიევის საგანმანათლებლო სივრცეში (საბჭოთა კავშირის პერიოდში). უდავოდ იყო რეფორმატორი რექტორი, შექმნა ამიერკავკასიაში პირველი მართვის ავტომატიზებული სისტემების კათედრა (1971), სპი გადაიყვანა ტექნიკური უნივერსიტეტის სტატუსზე (1990), სტუ-ის ინფორმატიკის ფაკულტეტზე განათლების საკავშირო სამინისტროს ნებართვით გახსნა მეცნიერებათა ხარისხის დისერტაციების დაცვის საბჭო სპეციალობით „მართვის ავტომატიზებული სისტემები და პროექტირების ავტომატიზაცია“. ამ საბჭოზე იცავდნენ დისერტაციებს როგორც საქართველოს, ასევე აზერბაიჯანის, სომხეთის და აღმოსავლეთ რეგიონების უნივერსიტეტთა მეცნიერები. საბჭოზე დაცულ იქნა ჩვენი ფაკულტეტის კოლეგების მიერ მეცნიერებათა დოქტორის დისაერტაციები. მაგალითად, ა. ფრანგიშვილი, გ. სურგულაძე, ზ. ბოსიკაშვილი, ზ. გასიტაშვილი, ი. და ო. ვერულავები, რ. ხუროძე, რ. კაკუბავა, მ. ახობაძე. ნ. ჯიბლაძე, ი. ხომერიკი, რ. სამხარაძე. ნ. ბერაია და სხვ. გოჩა ჩოგოვაძის ფილოსოფიური, ჰუმანიტარულ-ტექნოლოგიური გლობალური ხედვის ნიმუში, საქართველოში პოლიტიკური კატაკლიზმების პერიოდში (1989-1991), იყო სტუ-ში 1992 წ. ჰუმანიტარულ-ტექნიკური ფაკულტეტის გახსნა. ამან დიდი როლი ითამაშა (მატერიალური თვალსაზრისითაც) საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის საინჟინრო ფაკულტეტების შენარჩუნებისა და შემდგომი განვითარების საქმეში, შესაძლებელი გახდა მაღალკვალიფიციური აკადემიური კადრების შენარჩუნებაც. ამასთანავე მნიშვნელოვანი იყო 2006 წელს ი. ჯავახიშვილის თსუ-ში ჩატარებული ასაკობრივი რეფორმის ფარგლებში მასობრივად გათავისუფლებული მაღალკვალიფიციურ პროფესორთა დასაქმება სტუ-ში. კიდევ ერთხელ გილოცავთ აკად. გოჩა ჩოგოვაძის ხსოვნის დღეს, მისი ***მას***-კათედრის 55-ე წლისთავს და წარმეტებებს გისურვებთ დღევანდელი სამეცნიერო ფორუმის მონაწილეებს ! უღრმესი მადლობა ყველას ყურადღებისათვის !

მოგესალმებით ძვირფასო კოლეგებო და ფორუმის სტუმრებო. დღეს მეტად საინტერესო და მნიშვნელოვანი ღონისძიება ტარდება, რომელიც ბატონი გოჩა ჩოგოვაძის საიუბილეო თარიღის ხსოვნას და მისი ხელმძღვანელობით სტუ-ში განხორციელებული მრავალი სასარგებლო ინოვაციური პროექტის შედეგების ანალიზს და შეფასებას ეხება. 1990 წელს, მისი რექტორობის დროს, ერთ-ერთი ასეთი პროექტი გახლდათ სტუ-ის ჰუმანიტარული ფაკულტეტის შექმნა და მისი განვითერება, ძირითადად საინჟინრო მიმართულებათა სპეციფიკის გათვალისწინებით. ეს იყო სამართლამცოდნეობის, ეკონომიკის, ჟურნალისტიკის, ქართული ენის, ფილოლოგიისა და მედიატექნოლოგიების სპეციალობები. ამ ფაკულტეტის ბაზაზე 2016 წელს შეიქმნა სამი ფაკულტეტი, რომელთა მომავალი, სამწუხაროდ, არასახარბიელოა. 1990 წლიდან 2022 წლის ჩათვლით ბატონ გოჩასთან საქმიანი და მეგობრული ურთიერთობა მქონდა. მისი სამეცნიერო–პოპულარული წიგნები სტუ-ს UNESCO-ს კათედრაზე მზადდებოდა გამოსაცემად 2003-2015 წლებში, ინგლისურ, რუსულ და ქართულ ენებზე: „ინფორნაცია: ინფორმაცია, საზოგადოება, ადამიანი“, „გლობალანსი“, „ბიოსფეერია“, „ფიქრები მომავალზე“. როგორც ქართული ენის რედაქტორი, ხშირად ვხვდებოდით ერთმანეთს. ყოველთვის მაოცებდა მისი ღრმა ფილოსოფიური ხედვა მსოფლიო გლობალიზაციის გამოწვევებზე, რაც უშუალოდ იყო დაკავშირებული საქართველოსთან, მის მომავალთან, განსაკუთრებით ახალგაზრდობის განათლების და მათი სოციალური საკითხების პრობლემების გადაწყვეტასთან. როგორც რეფორმატორი რექტორი მნიშვნელოვანი იყო ჯერ ***სპი***-დან ტექნიკური უნივერსიტეტის ფორმირება და შემდეგ მისი მართვის ვერტიკალური მოდელის ოპტიმიზაციის ძიება, კერძოდ ფაკულტეტების ნაცვლად ინსტიტუტების შექმნის სახით. ასევე ვამზადებდით ინტერდისციპლინურ სამაგისტრო პროგრამას „მედიაინფორმატიკის“ სპეციალობით. სტუ-ის ლიტერატურის კათედრისთვის ბატონმა გოჩამ ბევრი სიკეთე გააკეთა და მისი მადლიერები ვიქნებით ყოველთვის. ნათელში იყოს მისი სული და ხსოვნა.



პროფ. თემურ ჯაგოდნიშვილი,
სტუ-ის ქართული ფილოლოგიის
და მედიატექნოლოგიების დეპ-ის
ხელმძღვანელი, ფილოლოგიის
მეცნიერებათა დოქტორი

მოგესალმებით უნივერსიტეტის კოლეგებო და დღევანდელი ფორუმის სტუმრებო. ადამიანი, რომელიც ყოველთვის გვაერთიანებდა და დღესაც მისი 85-ე საიუბილეო წლისთავის ხსოვნის გამო შევიკრიბეთ, უაღრესად დიდი პიროვნება, მსოფლიო მასშტაბის მეცნიერი, ჩვენი აღმზრდელი და უანგარო მეგობარია. კარგად მახსოვს მისი ლექციები, მსოფლმხედველური აზროვნება და შთამბეჭდავი რეკომენდაციები მართვის ავტომატიზებული სისტემების მომავალი საპეციალისტებისათვის, ახალ მეცნიერულ-საგანმანათლებლო გამოწვევების სივრცეში ჩვენი ადგილის, როლისა და გადასაწყვეტი პრობლემების შესახებ. წინა საუკუნის 80-იან წლებში, ახალგაზრდა მეცნიერი გოჩა ჩოგოვაძე უკვე ხედავდა იმ პრობლემებს და ამოცანებს, რომლებიც დღეს, 21-ე საუკუნის 20-ან წლებში გახდა ასე აქტუალური. ***მას***- ახლადშექმნილ კათედრას ძირითადად აკომპლექტებდა ჩვენი ***აგტ*** ფაკულტეტის წარმატებული კურსდამთავრებულებით, ხელს უწყობდა მათ პროფესიულ განვითარებას, აგზავნიდა სამეცნიერო სტაჟირებაზე ან ასპირანტურაში ევროპაში, მოსკოვში, პეტერბურგსა და კიევში. მიუხედავად მისი ჯერ კიდევ ახალგაზრდული ასაკისა, იგი ძალზე მაღალი ავტორიტეტით სარგებლობდა. მრავალი საკავშირო კონფერენცია, სატუდენტთა ოლიმპიადები პროგრამირებაში იმართებოდა საქართველოში გ. ჩოგოვაძის ხელმძღვანელობით. საუკეთესო პირობები იყო შექმნილი ფაკულტეტის სტუდენტებისთვის ისეთ სფეროებში, როგორიცაა დაპროექტებისა და დაპროგრამების ავტომატიზაცია, ხელოვნური ინტელექტის სისტემები და მონაცემთა ინტელექტუალური ბაზები, ინტეგრირებული ***მას***-ები, კიბერუსაფრთხოების სისტემები და ა.შ. ბატონი გოჩას გაზრდილი მრავალი კურსდამთავრებული გახდა პროფესორი, დიპლომატი, ბიზნესმენი და წარმატებით მოღვაწეობენ საზღვარგარეთ და ჩვენ ქვეყანაში. უღრმესი მადლობა მას ასეთი დაუვიწყარი ამაგისათვის, ნათელი მის ხსოვნას !



დავით თარხან-მოურავი,
მას-კათედრის კურსდამთავრებული,
ასპირანტი, მეცნიერი, პოლიტიკოსი,
საქართველოს ინფორმატიზაციის სახ.
დეპ.-ის თავმჯდომარე (2000-2002)

მოგესალმებით ძვირფასო კოლეგებო, ჩვენო სტუდენტებო და კურსდამთავრებულებო. 20 მაისი 30 წლის ახალგაზრდა მეცნიერმა გოჩა ჩოგოვაძემ დააარსა 1971 წელს, როგორც ***მას***-კათედრის დაბადების დღე ***სპი***-ში. 1976 წელს მეხუთე კურსის სტუდენტი დავესწარი ბატონი გოჩას მიერ ჩატარებულ 1-ელ საკავშირო კონფერენციას „მართვის ავტომატიზებულ სისტემებში“. მონაწილეები ჩამოვიდნენ თითქმის ყველა რესპუბლიკიდან, იმდენად აქტუალური იყო მაშინ ეს ახალი მიმართულება. გ. ჩოგოვაძის მეცნიერული დონე და ორგანიზაციული ნიჭი, რომელიც მაღალკულტურული დიპლომატიით იყო შეზავებული, დიდ გავლენას ახდენდა საკავშირო მეცნიერებათა აკადემიის და უნივერსიტეტების მონაწილეებზე. ***მას***-კათედრის ყოველ მე-5 წელს ბატონი გოჩა, სადაც არ უნდა ყოფილიყო ფიზიკურად (მაგ., პარიზი-იუნესკო), ახერხებდა ჩამოსვლას და ატარებდა საიუბილეო კონფერენციას. ასეთი ფონი წარმატებით აისახებოდა ***მას***-კათედრის ახალგაზრდა მეცნიერების და პედაგოგების განვითარებაზე. კათედრის სტუდენტები პრაქტიკას გადიოდნენ ევროპაში (პრაღის უნივერსიტეტში), ასპირანტები – გერმანიაში, დიდ ბრიტანეთში, რუმინეთში. უნგრეთსა და სხვ. ქვეყნებში. ბევრმა მათგანმა დაიცვა დისერტაციები, დასაქმდნენ კათედრაზე, საქართველოში ან საზღვარგარეთ (სპეციალობით, დიპლომატებად ან ბიზნესში). გ. ჩოგოვაძის მოღვაწეობას ჯერ იუნესკოში, შემდგე საქართველოს სრულუფლებიან ელჩად საფრანგეთსა და ესპანეთის სამეფოში ლეიტმოტივად გასდევდა საქართველოს დიდი სიყვარული, რაც კარგად აისახა მის მიერ ქართული კულტურის ძეგლების და ხელოვნების ნიმუშების იუნესკოს მსოფლიო ფონდში აღიარებით. მახსენდება სულხან საბა ორბელიანის მცდელობა საფრანგეთში ყოფნისას, დაერწმუნებინა მათი მთავრობა საქართველოს დასახმარებლად, რაც უშედეგოდ დასრულდა. ბატონმა გოჩამ განსაკუთრებული წვლილი შეიტანა სტუ-ის და იდმს ფაკ-ის სამეცნიერო დონის ამაღლებაში, ასევე იგი დარჩება ჩვენ გულებში როგორც დიდი ქართველი საზოგადო მოღვაწე !



ვაჟა ოთარაშვილი,
მას-კათედრის კურსდამთავრებული, ასპირანტი.
სტუ-ის თეოლოგიის დეპ-ის პროფესორი,
თეოლოგიის დოქტორი. პოეტი, პოლიტიკოსი.
მას-ის კათედრის ლექტორი (1980-2006)

მოგესალმებით ძვირფასო სტუმრებო, სტუდენტებო და კოლეგა კურსდამთავრებულებო. მეც, როგორც *მას*-კათედრის კურსდამთავრებული, შემდეგ ბატონი გოჩას ასპირანტი და ბოლოს ამ კათედრის თანამშრომელი (ასისტენტიდან - პროფესორამდე), მინდა მოკლედ გავიხსენო ის საუკეთესო ჰიბრიდულ თვისებები, რომელიც



ჰქონდა ჩემ ხელმძღანელს. აქ ვგულისხმობ გ. ჩოგოვაძის მეცნიერულ, ორგანიზაციულ და ინოვაციური საკითხების გადაწყვეტის ბრძოლისუნარიანობას. მისი განათლება, კულტურა, ოჯახური აღზრდა და „ზურგი“, ხელს უწყობდა მას იმ წინააღმდეგობის დაძლევაში, რომელიც ყოველთვის არსებობდა მეცნიერთა თაობათა შორის („სიახლის შიშის“ სინდრომი). გ. ჩოგოვაძეს უკვე ჰქონდა მოპოვებული ამ დროისთვის ძალზე პერსპექტიული და ნოვატორული მეცნიერის სახელი საბჭოთა კავშირის განათლების სამინისტროშიც. მათი რეკომენდაციით და *სპი*-ის მაშინდელი რექტორის, პროფ. იოსებ ბუაჩიძის მხარდაჭერით, მან შეძლო 1971 წლის 20 მაისს *აგტ*-ფაკულტეტზე ახალი კათედრის „მართვის ავტომატიზებული სისტემების“ შექმნა. როგორც ამ ფორუმზე ითქვა, კათედრის 5-წლიანი სამეცნიერო მუშაობის შედეგების შეფასება მოხდა *სპი*-ში 1976 წლის 20 მაისს – 1-ელ საკავშირო კონფერენციაზე (გ. ჩოგოვაძის თავმჯდომარეობით). პროცესი იმდენად მაღალ დონეზე ჩატარდა, რომ საკავშირო კონფერენციის პროგრამულმა კომიტეტმა სთხოვა ბატონ გოჩას ეხელმძღვანელა მომავალი, 1977 წლის სოხუმის მაღალი დონის საკავშირო სკოლა-სემინარის (7-დღიანი) ორგანიზაციული კომიტეტისთვის: „ინტელექტუალური ბანკების შექმნა ინფორმაციული სისტემებისთვის“. დიახ, 49 წლის წინ *მას*-კათედრაზე უკვე არსებობდა სამეცნიერო წინაპირობები და გარკვეული შედეგები „ხელოვნური ინტელექტის“ მეთოდების გამოყენების შესახებ საინფორმაციო სისტემების ასაგებად. იკითხებოდა პირველი ლექციები ხელოვნური ინტელექტის საფუძვლებში (გ. გოგიჩაიშვილი). გარდა სამეცნიერო-პედაგოგიური მოღვაწეობისა, ბატონი გოჩა იყო საქართველოს ფეხბურთელთა ახალგაზრდული ნაკრების თავდამსხმელი და ითვლებოდა ძალზე პერსპექტიულ მოთამაშედ. *სპი*-ის დამთავრებისთანავე იგი გახდა „ავტომატიკისა და ტელემექანიკის“ კათედრის ასპირანტი, დაიწყო მუშაობა სამეცნიერო დისერტაციაზე. გოჩას მამამ, ბატონმა გიორგი ჩოგოვაძემ, რომელიც იმ დროს იყო საქართველოს მინისტრთა საბჭოს თავმჯდომარის 1-ლი მოადგილე, მოსთხოვა შვილს სერიოზულად გაეკეთებინა არჩევანი - *მეცნიერება ან სპორტი* ! გოჩამ მეცნიერება აირჩია, შექმნა *მას*-კათედრა, 1975 წელს დაიცვა მეცნიერებათა დოქტორის დისერტაცია, გახდა პროფესორი. დასასრულს ვსვამ კითხვას, ბატონ გოჩას ფეხბურთი რომ აერჩია, ჩვენ, მის გაზრდილებს რა გვეშველებოდა, სად ვიქნებოდით ახლა ? მადლობა უფალს და მადლობა გოჩა ჩოგოვაძეს - დიდი სიკეთისთვის !

ოთარ შონია, *მას*-კათედრის კურსდამთავრებული, პროფესორი, ტ.მ.დ., ფაკ-ის მენეჯერი (2012-2021)

მირიან ყარაულაშვილი,
მას-კათ. კურსდამთავრებული, ბიზნესმენი



ბატონი გოჩა ჩოგოვაძე ჩვენი ლექტორი და მეგობარი იყო, რომელიც მეცნიერების საფუძვლებს და კაცობას, მეგობრობას გვასწავლიდა, ყველას ძალიან გვიყვარდა. დიპლომის დაცვის შემდეგ კათედრაზე, დარგობრივ ლაბ-ში დამტოვეს. აქ გავიზარდეთ მე და ჩემი ახალგაზრდა კოლეგები პროგრა-მული სისტემების სპეციალისტებად. ყოველი წლის 20.05 ერთად ვიყავით *მას*-კათედრის იუბილეზე და დღემდე ვაგრძელებთ ამ ტრადიციას. კახეთშიც ვხვდებოდით კათედრის ხალხი ერთ-მანეთს გოჩას თამადობით. დაუვიწყარია ეს ყველაფერი, მადლობა ბატონ გოჩას ყველაფრისთვის ! (მხოლოდ, ვერ ვხვდები რატომაა ფორუმის მასალში იგი მოხსენიებული ქართველ ფაუსტად, სატანასთან შეკრულ პიროვნებასთან).

მარინა კაშიბაძე, *მას*-კათ. I გამოშ-ვების კურსდამთავრებული, ტმკ. სტუ-ის „ინტერდისციპლინური ინფორმატიკის“ დეპ., ასოც.პროფ.



დაუვიწყარია ჩემთვის 1-ელი ლექცია „შესავალი სპეციალობა-ში“ ახალგაზრდა ლექტორის, გოჩა ჩოგოვაძის მიერ ჩატარებული. ეს იყო ახალი მიმართულება და ჩვენ წარმოდგენა არ გვქონდა კარგად ვინ და რა უნდა გამოვსულიყავით, რა უნდა გვესწავლა. პირველად გავიგეთ ტერმინები „ინჟინერ-სისტემოტექნიკოსი“, ორგანიზაციული მარ-თვის სისტემა (დღეს მენეჯმენტი) და ა.შ. ბატონი გოჩას წიგნი „*მას*-ის აგების საფუძვლები“ გახდა ჩვენი სამაგიდო სახელმძღვანელო. ამ საკითხებზე დავიცავი დისერტაცია. მადლობა ბატონ გოჩას, კათედრის ლექტორებს (ნათელი ხსოვნა, ვინც გადავიდა მარა-დისობაში). მადლობა სტუ-ის და იმს ფაკ-ის ხელმ-ძღვანელობას ასეთი საინტერესო ფორუმისათვის !

(რედ.კომენტარი): გოეთეს „ფაუსტი“ მსოფლიო შედევრია, მისი გმირი კი – მეცნიერი, პროგრესულად მოაზროვნე პიროვნება. მეტაფორა „სატანასთან კავშირი“ ჰგავს ბიბლიისას („ყველა ადამიანი ცოდვილია დაბადებიდან”). ფაუსტი დადებითი გმირია, მეფისტოფელი კი უარყოფითი: აქ ასახულია ბრძოლა სიკეთესა და ბოროტებას შორის. ყველა ადამიანმა თავის სულში ღრმად უნდა ჩაიხედოს, საკუთარ თავს ჰკითხოს – რა ფარული ცოდვის მატარებელია. სიკეთე მეტი გაუკეთებია თუ სიბოროტე. აანთოს წმინდა სანთელი და უფალს პატიება სთხოვოს.

აკადემიკოსი გოჩა ჩოგოვაძე – მეცნიერი, დიპლომატი და საზოგადო მოღვაწე (ისტორიული ფაქტები და მოვლენები)

დავით გურგენიძე, თამარ ლომინაძე, თალიკო ჟვანია
საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი
d.gurgenidze@gtu.ge, t.lominadze@gtu.ge, t.zhvania@gtu.ge

რეზიუმე

განხილულია საქართველოს მეცნიერებათა ეროვნული აკადემიის ნამდვილი წევრის, იუნესკოს (პარიზი) განათლებისა და კულტურის დეპარტამენტის ხელმძღვანელის, საქართველოს ცენტრალური კომიტეტის განათლებისა და მეცნიერების განყოფილების გამგის, საქართველოს პოლიტექნიკური ინსტიტუტის (ტექნიკური უნივერსიტეტის) ექს-რექტორის, დიპლომატის, საქართველოს საგანგებო და სრულუფლებიანი ელჩის საფრანგეთსა და ესპანეთის სამეფოში, სტუ-ის „მართვის ავტომატიზებული სისტემების“ (1971) და იუნესკოს „საინფორმაციო საზოგადოების“ (2003) კათედრების დამაარსებლის, ევროპისა და რუსეთის მრავალი უნივერსიტეტის საპატიო დოქტორის გოჩა გიორგის ძე ჩოგოვაძის სამეცნიერო, პედაგოგიური და საზოგადო მოღვაწეობის მოკლე ისტორია. მისი როლი თანამედროვე მეცნიერებაში.

საკვანძო სიტყვები: გოჩა ჩოგოვაძე. UNESCO. საქართველოს პოლიტექნიკური ინსტიტუტი. საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი. განათლება. მეცნიერება. მართვის ავტომატიზებული სისტემები. საინფორმაციო საზოგადოება. ქართული დიპლომატია.

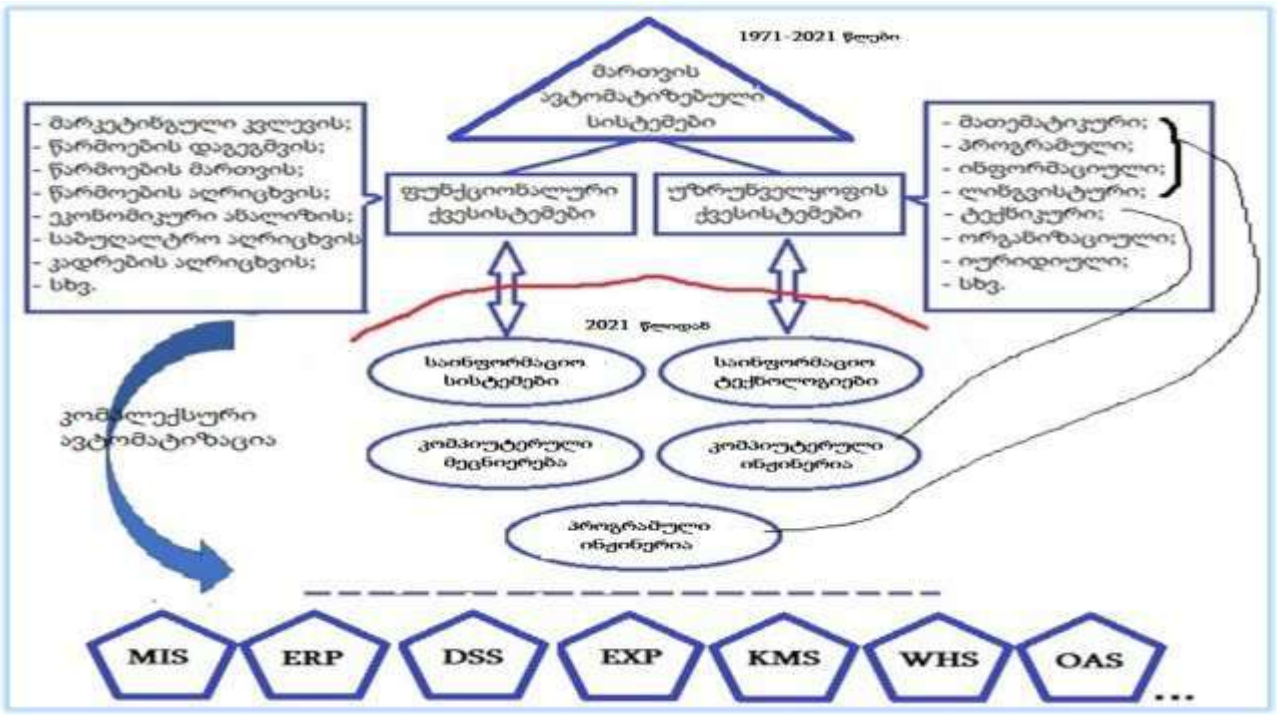
➢ 1-ელი ეტაპი: 1971 – 1980 წლები (თბილისი, სპი)

საქართველოს პოლიტექნიკური ინსტიტუტის (სპი) რექტორმა, პროფესორმა იოსებ ბუაჩიძემ, აკადემიური საბჭოს ერთსულოვანი გადაწყვეტილებით, 1971 წლის 20 მაისს ხელი მოაწერა ამიერკავკასიაში პირველი, ახალი მეცნიერული მიმართულების, „მართვის ავტომატიზებული სისტემების“ კათედრის დაარსების ბრძანებას [1]. მსგავსი ახლდშექმნილი კათედრები ფუნქციონირებდა მხოლოდ მოსკოვში, პეტერბურგსა და კიევში. ასე შეიქმნა „ავტომატიკისა და გამოთვლითი ტექნიკის“ (აგტ) ფაკულტეტზე „მართვის ავტომატიზებული სისტემების“ (***მას***) კათედრა – ახალგაზრდა (30 წლის) მეცნიერის, ტექნიკის მეცნერებათა კანდიდატის, გოჩა ჩოგოვაძის ინიციატივით. იგი იყო კათედრის დამფუძნებელი და მისი პირველი გამგეც (1971-1980). ***მას***-კათედრის გამგის მოადგილის მოვალეობას ასრულებდა დოცენტი გიორგი გოგიჩაიშვილი, რომელიც იყო გ. ჩოგოვაძის თანაჯგუფელი და მეგობარი. ბატონი გოჩას მიწვევის შემდეგ პარიზში, UNESCO-ს „განათლებისა და კულტურის“ დეპარტამენტის ხელმძღვანელად 5 წლით (1981-1985), რაც იყო პირველი პრეცედენტი საქართველოს და სსრკ ისტორიაში, ამავე კათედრის მეორე გამგე ხდება პროფ გ. გოგიჩაიშვილი (1981-2015).

ახალი კათედრა გ. ჩოგოვაძემ 1971-73 წლებში ძირითადად დააკომპლექტა იმ დროს აგტ ფაკულტეტზე არსებული „გამოთვლითი ტექნიკისა“ და „ავტომატიკა-ტელემექანიკის“ კათედრების წარჩინებული კურსდამთავრებულებისგან. სტუდენტთა 2 ჯგუფი კი - (ქართული და რუსული სექტორები) შეიქმნა მე-3 კურსის სხვა ფაკულტეტის „მოხალისეებიდან“. ამავე წელს განხორციელდა ***ადმას***-სპეციალობით (ინფორმაციის დამუშავებისა და მართვის ავტომატიზებული სისტემები) პირველკურსელების მიღებაც. ამოქმედდა ასპირანტურის სექტორიც. სპი-ს 15-ვე ფაკულტეტზე იკითხებოდა ლექციები დარგობრივი მართვის

ავტომატიზებული სისტემების პროფილით (ფაკულტეტის შესაბამისად). ეს საგანი ისწავლებოდა ბათუმის, სოხუმის, ფოთის, ზუგდიდის, ჭიათურის, ტყიბულის, გორის, თელავის, თბილისის 31-ე ქარხნის და სპი-ის სხვა ფილიალებში (საღამოს დასწრებული და დაუსწრებელი სწავლების ფაკულტეტებზე).

მრავაფეროვანი იყო ***მას***-კათედრის სამეცნიერო მიმართულება, ორგანიზაციული მართვის (მენეჯმენტის) ავტმატიზებული სისტემები, საწარმოო პროცესების და ტექნოლოგიური პროცესების ავტომატიზებული სისტემები და ა.შ. კათედრას სამეცნიერო კონტრაქტებით კავშირი ჰქონდა რუსთავის ქიმიური ბოჭკოს და მეტალურგიულ ქარხნებთან, საწარმოო პროცესების ავტომატიზაციის ამოცანების გადასაწყვეტად. 1973 წელს სსრკ დამზადების სამინისტროს გადაწყვეტილებით (მოსკოვის დაფინანსებით) ***მას***-კათედრაზე შეიქმნა ამიერ-კავკასიაში (საქართველო, აზერბაიჯანი და სომხეთი) პირველი სამეცნიერო-საპროექტო „დარგობრივი ლაბორატორია" პურპროდუქტების დამზადების სამინისტროებისა და შესაბა-მისი საწარმოების ცენტრალიზებული კომპლექსური ავტომატიზებული სისტემის ასაგებად, რომელიც შემდეგ მიეერთდა საერთო საკავშირო სისტემას. ***მას***-კათედრის ახალგაზრდა კოლექტივმა გ. ჩოგოვაძის და გ. გოგიჩაიშვილის ხელმძღვანელობით წარმატებით გაართვა თავი ამ დიდი პროექტის გადაწყვეტას [2]. გ. ჩოგოვაძის ორგანიზაციული მართვის პროცესების ავტომატიზაცია, გ. გოგიჩაიშვილის სიტუაციური მართვის პროცესების კვლევა ხელოვნური ინტელექტის მეთოდებით, გ. სურგულაძის მონაცემთა რელაციური ბაზების დაპროექტების და პროგრამული რეალიზციის საკითხები გახდა კათედრის პრიორიტეტული სამეცნიერო მიმართულება. მიმდინარეობდა აქტიური მუშაობა ***მას***-ის ფუნქციონალური და უზრუნველყოფის ქვესისტემების პროექტირების და პროგრამირების სფეროში (ნახ.1).



ნახ.1. მართვის ავტომატიზებული სისტემის სტრუქტურა:

MIS - მენეჯმენტის საინფორმაციო სისტემები; ERP - საწარმოო რესურსების დაგეგმვა (მართვა); DSS - გადაწყვეტილების მიღების მხარდამჭერი სისტემები; EXP - ექსპერტული სისტემები (AI - (ხელოვნური ინტელექტი); KMS -ცოდნის მართვის სისტემები; WHS - მონაცემთა საცავების სისტემები (Data Mining, BigData); OAS - ოფისის ავტომატიზაციის სისტემები, მაგ., Office-365)

1979 წელს გ. ჩოგოვაძის ხელმძღანელობით კათედრაზე შეიქმნა გამოთვლითი ცენტრი, რომელიც ორი მიმართულებისგან შედგებოდა: პირველი – დიდი უნივერსალური ეგმ „EC-1022“, რომელიც განთავსებული იყო სპი-ს მე-6 კორპუსის ორსართულიან ტერიტორიაზე (ამჟამად სტუ-ის ტელევიზია). აქ შესაძლებელი იყო მართვის საინფორმაციო სისატემების და სხვა ეკონომიკურ-მათემატიკური ამოცანების დაპროგრამება. მაგალითად, ***სპი***-ის მისაღები გამოცდების პროცესების ავტომატიზაციის პირველი ქვესისატემა სწორედ აქ შეიქმნა. მეორე – მინი ეგმ „МИР-2“, რომელზეც წყდებოდა საინჟინრო და მათემატიკური ამოცანები. ამგვარად, 1980 წლისათვის გ. ჩოგოვაძის ***მას***-კათედრაზე, დარგობრივ ლაბორატორიასა და გამოთვლით ცენტრში უკვე მუშაობდა 120-ზე მეტი თანამშრომელი (და წარმატებული სტუდენტები).

მას კათედრის პრიორიტეტული „სავიზიტო ბარათი“ მისი *საერთაშორისო სამეცნიერო კონტაქტები და კონფერენციებია.* დაარსებიდან ყოველ მე-5 წელს (1976-დან) ტარდება საერთაშორისო (ადრე საკავშირო) მასშტაბის კონფერენციები „მართვის ავტომატიზებული სისტემები“ (თბილისში, ბათუმში, თელავსა და ბაკურიანში). ერთ-ერთი მნიშვნელოვანი მოვლენა იყო 1977 წელს ქ. სოხუმში 1-ელი საკავშირო დონის (7-დღიანი) სკოლა-სემინარის ჩატარება ***„ინფორმაციული ინტელექტუალური მონაცემთა ბანკები“.*** მასპინძელი ქვეყნის სტატუსით პროფ. გ. ჩოგოვაძე გახდა საორგანიზაციო კომიტეტის თავმჯდომარე) [3]. პოსტ-საბჭოური 15-ვე რესპუბლიკის მეცნიერები მონაწილეობდნენ სემინარში, რომლის დასკვნით შეხვედრაზე ერთხმად იქნა აღიარებული სპი-ს ***მას***-კათედრის წარმატებული მეცნიერული შედეგები მონაცემთა რელაციური ბაზების თეორიისა და პრაქტიკის განვითარების საკითხებში, როგორც ინტელექტუალური ბანკებისკენ გადადგმული 1-ელი ნაბიჯი.

1972-1980 წლები ***მას***-კათედრის პროფესურის, დარგობრივი სამეცნიერო ლაბორატორიის და სტუდენტ-მეცნიერთა მაღალი აქტივობით გამოირჩევა. შედეგები ინერგება დარგობრივი მართვის ავტომატიზებული სისტემების სახით (თბილისში, ბაქოსა და ერევანში, რუსთავის, რუსეთის ქ. ვიკსის და ქ. პერვოურალსკის მეტალურგიულ ქარხნებში) [4].

პროფ. გ. ჩოგოვაძემ 1980 წელს გამოსცა რამდენიმე წიგნი, რომელთა შორის უნდა გამოვყოთ სახელმძღვანელო „მართვის ავტომატიზებული სისტემების აგების საფუძვლები“. ეს პირველი ნაშრომია ამ მიმართულებით, რომელზეც აღიზარდა სტუდენტების მრავალი თაობა და, მართალია 46 წელი გავიდა მას მერე, მაგრამ იგი დღესაც აქტუალურია, განსაკუთრებით პირველკურსელებისათვის – როგორც შესავალი სპეციალობაში (ძირითად ცნებათა ტერმინთა, სისტემური ანალიზის და კლასიფიკაციის, პროცესების მოდლირების, ალგორითმიზაციის და პროგრამირების საწყისების შესწავლის თვალსაზრისით) [5].

➢ მე-2 ეტაპი: 1981 – 1985 წლები (საფრანგეთი, იუნესკო)

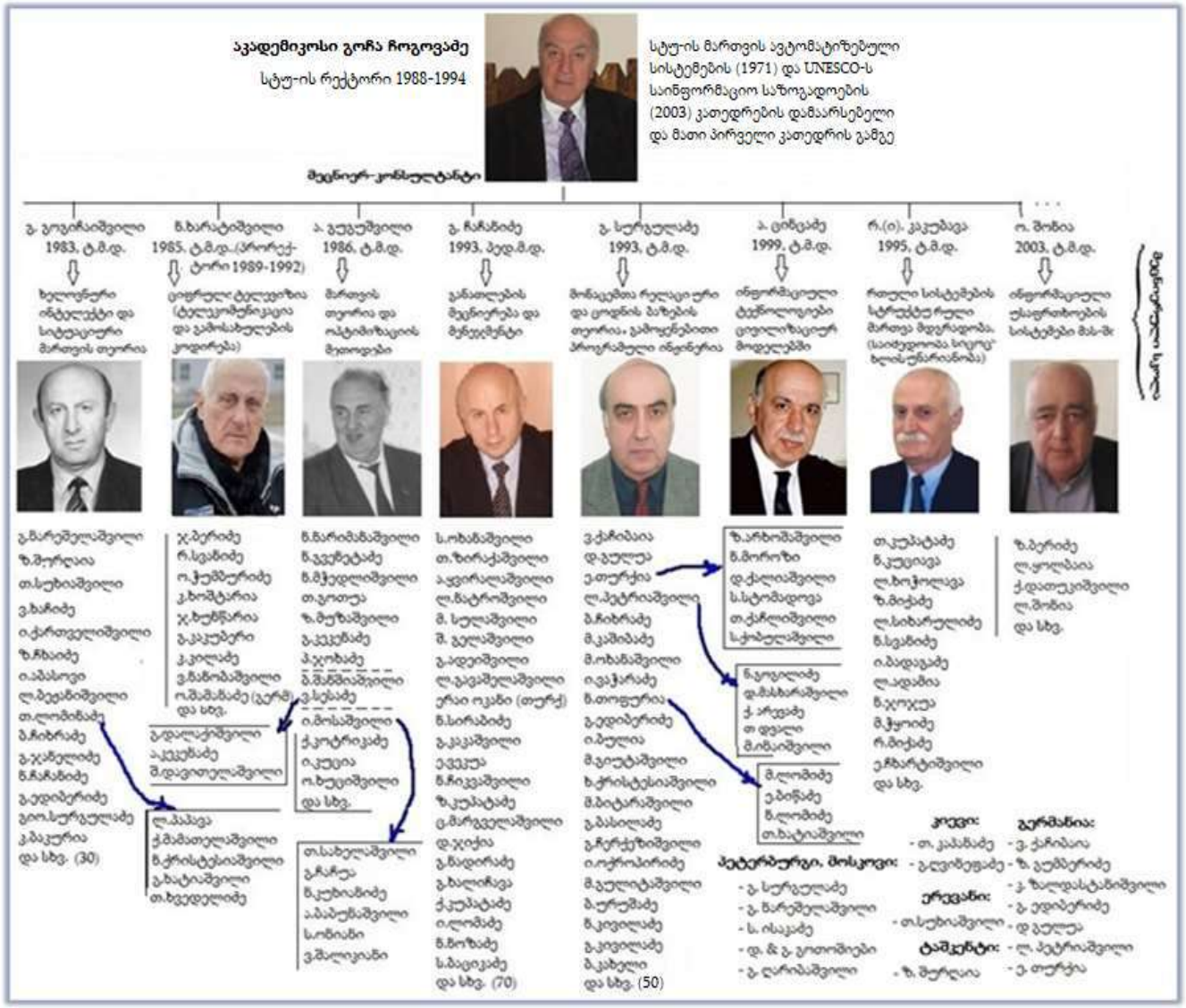
1981 წლის იანვრიდან პროფ. გ. ჩოგოვაძე (საერთაშორისო დონის კონკურსებში გამარჯვების შემდეგ) მიწვეულ იქნა პარიზში 5 წლით, UNESCO-ს შტაბ-ბინაში, მეცნიერებისა და კულტურის დეპარტამენტის ხელმძღვანელად. დიდია ბატონი გოჩას საქვეყნო დამსახურება, როგორც საზოგადო მოღვაწისა. საქართველოს კულტურული მემკვიდრეობის ძეგლების (1994-1996: სვეტიცხოველი, ჯვრის მონასტერი, გელათის და ბაგრატის ტაძრები, ზემო სავანეთი - უშგული და ა.შ.), ქართული პოლიფონიური სიმღერები (მრავალხმიანობა: მაგ., კახური ჩაკრულო, მრავალჟამიერი, სვანური ლილე, გურული კრიმანჭული, საშობაო ალილო, შენ ხარ ვენახი და სხვ.) იუნესკოს მსოფლიო ფონდში მიღებასთან დაკავშირებით. ბატონი გოჩა ამ წლებშიც ინარჩუნებდა აქტიურ კონტაქტებს კათედრასთან და თავის ასპირანტებთან.

➢ მე-3 ეტაპი: 1986 – 1994 წლები (საქართველო, სტუ)

პარიზიდან დაბრუნებისთანავე 1986 წ. პროფ. გ. ჩოგოვაძე ინიშნება საქართველოს კპ ცკ-ის განათლებისა და მეცნიერების განყოფილების ხელმძღვანელად. წლების მანძილზე იყო საქართველოს უმაღლესი საბჭოს დეპუტატი.

1988 წელს გ. ჩოგოვაძე არჩეულ იქნა საქართველოს პოლიტექნიკური ინსტიტუტის რექტორად. ამავე წელს იგი ხდება საქართველოს მეცნიერებათა ეროვნული აკადემიის წევრ-კორესპონდენტი. 1990 წელს მისი ინიციატივით *სპი*-მა შეიცვალა სტატუსი და გახდა საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი (*სტუ*).

მისი მხარდაჭერით სტუ-ში გაიხსნა ახალი, ჰუმანიტარული ფაკულტეტი, რომელმაც დიდი როლი ითამაშა 1991-1993 წლების პოლიტიკური კრიზისის და სამოქალაქო დაპირის-პირების დროს (საგანმანათლებლო და მატერიალური თვალსაზრისით). ეკონომიკური კოლაფსის პირობებში შესაძლებელი გახდა საინჟინრო ფაკულტეტების და მათი პროფესურის შენარჩუნება (გადარჩენა უმუშევრობისგან), დამატებითი სტუდენტთა ნაკადის მოზიდვით.



სურ. 2. აკად. გ. ჩოგოვაძის სამეცნიერო შვილები, შვილიშვილები და შვილთაშვილები

იუნესკოში მოღვაწეობის პერიოდში პროფ. გ. ჩოგოვაძეს არ გაუწყვეტია სამეცნიერო კავშირები *მას*-კათედრის და *აგტ*-ფაკულტეტის კოლეგებთან, ყოველწელს 20 მაისს იგი ესწრებოდა თავისი შექმნილი კათედრის დაბადების დღეს, ჩამოდიოდა მივლინებებით ან შვებულების დროს. მისი ხელმძღანელობით და კონსულტაციებით მზადდებოდა საკანდიდატო და სადოქტორო დისერტაციები. მე-2 სურათზე ნაჩვენებია ფრაგმენტი მეცნიერებათა დოქტორის ხარისხის დაცვების საილუსტრაციოდ ფაკულტეტზე (1983-2003 წლებში).

1993 წელს პროფესორი გ. ჩოგოვაძე ხდება საქართველოს მეცნიერებათა ეროვნული აკადემიის ნამდვილი წევრი (აკადემიკოსი). 1994 წ. ე. შევარდნაძემ დანიშნა გ. ჩოგოვაძე საფრანგეთის და ესპანეთის სამეფოს სრულუფლებიან ელჩად.

➢ მე-4 ეტაპი: 1994 – 2003 წლები (დიპლომატია)

1994 წელს აკადემიკოსი გ. ჩოგოვაძე ხდება დამოუკიდებელი საქართველოს პირველი საგანგებო და სრულუფლებიანი ელჩი საფრანგეთისა და ესპანეთის სამეფოში. იგი გადადის პარიზში. მე-3 სურათზე ასახულია საფრანგეთის პრეზიდენტთან, ფრანსუა მიტერანთან (1981-1995) პირველი შეხვედრის მომენტი (1994), ხოლო მე-4 სურათზე საფრანგეთის მომდევნო პრეზიდენტ ჟაკ შირაკთან (1995-2007) შეხვედრა (ქალბატონ ნათელა ლაღიძესთან ერთად).



სურ. 3. გ. ჩოგოვაძის მიღება საფრანგეთის პრეზიდენტ ფ. მიტერანთან (1994 წ.)



სურ. 4. საფრანგეთის პრეზიდენტ ჟ. შირაკთან. გ. ჩოგოვაძე და ნ. ლაღიძე (1995 წ.)

პარალელურად, 1994-2004 წლებში გ. ჩოგოვაძე იყო საქართველოს მუდმივი წარმომადგენელი იუნესკოში; 2004 წლიდან იუნესკოს გაერთიანებული ერების განათლების, მეცნიერებისა და კულტურის ორგანიზაციის მისიის ხელმძღვანელი.

გ. ჩოგოვაძის საერთაშორისო ავტორიტეტზე მეტყველებს ის ფაქტი, რომ მისი რეკომენდაციით საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი გახდა ფრანკოფონიის საუნივერსიტეტო სააგენტოს (AUF) წევრი, რამაც ქართველ სტუდენტებსა და პროფესორებს გზა გაუხსნა ფრანგულენოვანი საგანმანათლებლო სივრცისკენ.

მე-5 სურათზე ასახულია გ. ჩოგოვაძის სტუმრობა ესპანეთის მეფესთან ხუან კარლოს დე ბურბონთან 1995 წელს (მეფე 1975-2014 წლებში).



სურ. 5. გ. ჩოგოვაძის სტუმრობა ესპანეთის მეფესთან - ხუან კარლოსთან (1994)

2001 წლიდან ბატონი გოჩა ხდება იუნესკოს აღმასრულებელი საბჭოს ვიცე-პრეზიდენტი.

2002 წელს გ. ჩოგოვაძის ინიციატივით საფუძველი ჩაეყარა ფრანგულ-ქართულ ინსტიტუტს სტუ-ში, სადაც მზადდებოდა ფრანგულენოვანი საინჟინრო კადრები ინფორმატიკისა და ეკონომიკის სპეციალობებში (სურ.6).



სურ. 6. გ. ჩოგოვაძე, რექტორი რ. ხუროძე, საფრანგეთიდან კოლეგები ფრანგულ-ქართული ინსტიტუტის შექმნის მიზნით ჩამოსულები, ვ. დიდმანიძე და პრორექტორი რ. სტურუა

გ. ჩოგოვაძის ინიციატივით 2003 წელს სტუ-ში იხსნება UNESCO-ს კათედრა „ინფორმაციული საზოგადოება“. მყარდება საგანმანათლებლო-სამეცნიერო თანამშრომლობის კონტაქტები იუნესკოსა და სტუ-ს შორის.

➢ მე-5 ეტაპი: 2004 – 2022 წლები (სტუ, იუნესკოს კათედრა)

2004 წლიდან (დიპლომატიური სამსახურის დასრულების შემდეგ) გ. ჩოგოვაძე უბრუნდება UNESCO-ს ოფისს (პარიზი) და ხდება მისი გენერალური დირექტორის მრჩეველი განათლებისა და კულტურის საკითხებში. 2018 წლამდე ბატონი გოჩა ცხოვრობდა პარიზში და პერიოდულად ახერხებდა იუნესკოს კათედრის და მართვის ავტომატიზებული სისტემების (პროგრამული ინჟინერიის) დეპ-ის საერთაშორისო ღონისძიებებში აქტიურ მონაწილეობას.

სტუ-ს იუნესკოს კათედრამ, თავისი 20-წლიანი არსებობის მანძილზე, განახორციელა მნიშვნელოვანი საგანმანათლებლო-მეთოდური და სამეცნიერო სამუშაოები: დღიდან დაარსებისა წლების განმავლობაში იმართებოდა მუდმივმოქმედი სამეცნიერო-პრაქტიკული სემინარები, რომელთა მიზანიც თანამედროვე საზოგადოებაში (განათლების თითქმის ყველა საფეხურისთვის) კომპიუტინგისა და ინფორმატიკის დიდაქტიკის დანერგვა და განვითარება იყო. საგანმანათლებლო დაწესებულებებისთვის (სკოლა და უნივერსიტეტი) შემუშავდა სპეციალური პროგრამები, ლექციათა კურსები, ლაბორატორიები და სახელმძღვანელოების ბიბლიოთეკა. გ. ჩოგოვაძემ ამ წლებში გამოსცა პოპულარული მონოგრაფიები „ინფორნაცია“ (სამ ენაზე), „გლობალანსი“, „ბიოსფეერია“ და „ფიქრები მომავალზე“, რომლებმაც ფართო საზოგადოების დიდი ინტერესი გამოიწვია [6-9].

აკად. გ. ჩოგოვაძის მიერ 1971 წ. შექმნილი „მართვის ავტომატიზებული სისტემების (პროგრამული ინჟინერიის“) დეპარტამენტი და 2003 წელს შექმნილი სტუ-ის იუნესკოს კათედრა ერთობლივი ძალისხმევით ატარებენ 2006, 2011 და 2016 წლებში საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენციებს *„მართვის ავტომატიზებული სისტემები და თანამედროვე საინ-ფორმაციო ტექნოლოგიები*“, ცნობილი ევროპელი მეცნიერების მონაწილეობით. 2018 და 2021 წლებში ჩატარდა ორი საერთაშორისო კონფერენცია თემატიკით *„საინფორმაციო საზოგადოება და განათლების ინტენსიფიკაციის ტექნოლოგიები*“: http://conf-unesco.gtu.ge/ (სურ.7).



სურ. 7. აკადემიკოს გოჩა ჩოგოვაძის 80 და *მას*-კათედრის 50 წლისთავისადმი მიძღვნილი საიუბილეო საერთაშორისო კონფერენცია (2021, 20 მაისი).
გ. ჩოგოვაძე, დ. გურგენიძე, თ. ლომინაძე, ჯ. გახოკიძე და ზ. გასიტაშვილი

➢ მე-6 ეტაპი: 2022 – 2026 წლები



ბატონი გოჩა ჩოგოვაძე გარდაიცვალა 81 წლის ასაკში, 2022 წლის 12 ივლისს. იგი დაიკრძალა ვაკის პანთეონში, თავისი ვაჟის გოგლიკო ჩოგოვაძის გვერდით, რომლის უდროოდ დაღუპვამ (ტრაგიკული შემთხვევის გამო) დიდი გავლენა იქონია მამის ჯანმრთელობაზე და მისი სიცოცხლის შეწყვეტაზე.



საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის რექტორმა, აკადემიკოსმა დავით გურგენიძემ და თბილისის საკრებულოს თავმჯდომარემ, გიორგი ტყემელაძემ (სურ.8) ცნობილი მეცნიერისა და საზოგადო მოღვაწის, დიპლომატის, სტუ-ის ყოფილი რექტორის, იუნესკოს საუნივერსიტეტო კათედრის – დამაარსებლის, აკადემიკოს გოჩა ჩოგოვაძის ***მემორიალური დაფა*** გახსნეს (ვაკის რაიონში, ირაკლი აბაშიძის ქ.#20-ში, გ. ჩოგოვაძის საცხოვრებელი სახლის ფასადზე, თბილისის მუნიციპალიტეტის მერიის და საკრებულოს გადაწყვეტილებით).



სურ. 8. მანანა ჯიბლაძე (გოჩას მეუღლე), გ. ტყემალაძე და აკად. დ. გურგენიძე. მემორიალური დაფის გახსნაზე (14.03.24)

დედაქალაქის ერთ-ერთ ქუჩას (ნაძალადევის რაიონში) მიენიჭა აკადემიკოს გოჩა ჩოგოვაძის სახელი.

სტუ-ის აკადემიური და წარმომადგენლობითი საბჭოების გადაწყვეტილებით იუნესკოს კათედრას – „ინფორმაციული საზოგადოება“ – აკადემიკოს გოჩა ჩოგოვაძის სახელი მიენიჭა.

2024 წ. 11 იანვარს სტუ-ში გაიმართა გოჩა ჩოგოვაძის დაბადების დღის ხსოვნისადმი მიძღვნილი შეხვედრა, რექტორის აკად. დ. გურგენიძის თავმჯდომარეობით (სურ.9).



სურ. 9. სტუ - 11.01.24: კანცლერი კ. კოპალიანი, საქ.მეცნ.აკადემიის პრეზიდენტი რ. მეტრეველი, სტუ-ის რექტორი, აკად. დ. გურგენიძე, თბილისის სასულიერო აკადემიის რექტორი გ. ზვიადაძე, სტუ-ის ვიცე-რექტორი თ. ლომინაძე და მანანა ჯიბლაძე (გ. ჩოგოვაძის მეუღლე)

დასარულს, დიდი პატივისცემით გვინდა აღვნიშნოთ, რომ 1926 წლის 20 მაისს სტუ-ის ადმინისტრაციის საკონფერენციო დარბაზში გაიმართა აკადემიკოს გოჩა ჩოგოვაძის საიუბილეო, 85 წლის ხსოვნის და მისი დაარსებული „მართვის ავტომატიზებული სისტემების“ კათედრის (პროგრამული იჟინერიის დეპ.) 55 წლისადმი მიძღვნილი სამეცნიერო ფორუმი *„ციფრული ტექნოლოგიების განვითარების თანამედროვე ტენდენციები“* (სურ. 10).



სურ. 10. სამეცნიერო ფორუმი: სტუდენტთა პროექტის წარმოდგენა „ნიკო ფიროსმანის ნახატების გაციფრულება ხელოვნური ინტელექტის მეთოდებით“

პრეზიდიუმში (მარჯვ.): იმს-ფაკ. დეკანი, პროფ. თ. ჟვანია, სტუ-ის ვიცე-რექტორი თ. ლომინაძე, იუნესკოს კათ.-ის „ინფორმაციული საზოგადოება“ კოორდინატორი, პროფესორი ლ. ხეთაგური, *მას*-კათ.-ის (პროგრამული იჟინერიის დეპ.) ხელმძღვანელი, პროფ. გ. სურგულაძე

შეიკრიბნენ ბატონი გოჩას აღზრდილი კურსდამთავრებულები, ყოფილი ასპირანტები და დოქტორანტები, იმს-ფაკულტეტის კოლეგები და სტუდენტები, მეგობრები და ახლობლები (სურ.11).



შეხვედრამ სამეცნიერო ფორუმის დამსწრეთა აქტიურობის და ბატონი გოჩას თბილი მოგონებების ფონზე ჩაიარა.



სურ. 11. სტუ – ფორუმის საკონფერენციო დარბაზი (20 მაისი 2026)

ლიტერატურა – References – Литература:

1. Chogovadze G., Gogichaishvili G., Surguladze G.. (2021). Chair of „Automated Control Systems“ Celebrates 50th Anniversary – its Role in the Development of Education and Science. Transact. of GTU. Automated control systems - No 1(32), vol.1,1,, pp.7-18. DOI.org/10.36073/1512-3979 (in Ge)
2. Chogovadze G., Gogichaishvili G., Makarov Sh., Gogishvili Z. (1976). Optimal Planning for the Industry of the Ministry of Procurements of the Transcaucasian Republics. Journal "Flour, Elevator, and Feed Industry", Moscow, No. 5. (in Ru)
3. Chogovadze G., Surguladze G., Chachanidze G. (1977). Designing of Relational Databases and Issues of Communication in Them. Abstracts of the 1-st All-Union School-Seminar "Intellectual Information Banks". - M. MEPhI-GPI. Sukhumi, 23.09-2.10.1977, pp.55-58 (in Ru)
4. Chogovadze G., Surguladze G., Chachanidze G. (1981). Development of information support for an automated control system for a pipe-rolling unit. Abstracts of the 1st All-Union Scientific and Technical Conference "Data Banks". GPI, Tbilisi. (in Ru)
5. Chogovadze G. (1980). Basics of ACS construction: – ACS architecture. Tbilisi State University, 250_p. (in Ge, and in Ru)
6. Chogovadze G. (2003). InforNation: Information, Society, People. Tb., "Neostudio" (in En, Ru, Ge)
7. Chogovadze G. (2006). Global balance. Moscow. “Z. Tsereteli Creative Workshops " (in Ge, Ru)
8. Chogovadze G. (2009). Biosphere. Moscow. “Z. Tsereteli Creative Workshops" (in Ge)
9. Chogovadze G. (2015). Thoughts for the future. Tbilisi. -198 p. (in Ge)

(სტატია მიღებულია 16.06.2026)

ACADEMICIAN GOCHA CHOGOVADZE — SCIENTIST, DIPLOMAT AND PUBLIC FIGURE (HISTORICAL FACTS AND EVENTS)

Gurgenidze David, Lominadze Tamar, Zhvania Taliko
Georgian Technical University
d.gurgenidze@gtu.ge, t.lominadze@gtu.ge, t.zhvania@gtu.ge

Summary

This article provides a brief history of the scientific, pedagogical, and public activities of Gocha Chogovadze, full member of the Georgian National Academy of Sciences, head of the Education and Culture Department of UNESCO (Paris, 1981-1985), head of the Education and Science Department of the Central Committee of the Communist Party of Georgia, Rector of the Georgian Politechnical Institute (Technical University) (1988-1994), diplomat, Ambassador Extraordinary and Plenipotentiary of Georgia to France and the Kingdom of Spain, founder of the Departments of Automated Control Systems (1971) and UNESCO's "Information Society" (2003) and honorary doctorates from many universities in Europe and Russia. His role in modern science.

(Received 16.06.2026)

АКАДЕМИК ГОЧА ЧОГОВАДЗЕ — УЧЁНЫЙ, ДИПЛОМАТ И ОБЩЕСТВЕННЫЙ ДЕЯТЕЛЬ

Гургенидзе Давид , Ломинадзе Тамар, Жвания Талико
Грузинский Технический Университет
d.gurgenidze@gtu.ge, t.lominadze@gtu.ge, t.zhvania@gtu.ge

Резюме

Рассматривается краткая история научного, педагогического и общественного деятельности Гочи Георгиевича Чоговадзе, действительного члена Грузинской национальной Академии Наук, руководителя отдела образования и культуры ЮНЕСКО (Париж, 1981-1985), руководителя отдела образования и науки ЦК Компартии Грузии, ректор ГПИ (Технического университета) (1988-1994), дипломат, Чрезвычайного и полномочного посла Грузии во Франции и Королевстве Испания, основателя кафедр «Автоматизированные системы управления» (1971) и «Информационное общество» ЮНЕСКО (2003) ГТУ, почётного доктора многих университетов Европы и России. Его роль в современной науке.

(Поступила 16.06.2026)

სტუ-ის „მართვის ავტომატიზებული სისტემების“ კათედრის მეცნიერული და აკადემიური შედეგები 55 წლის მანძილზე

გია სურგულაძე, ლილი პეტრიაშვილი, გულბაათ ნარეშელაშვილი,
მაია ოხანაშვილი, მარინა კაშიბაძე

g.surguladze@gtu.ge, l.petriashvili@gtu.ge, gul1948@mail.ru,
m.okhanashvili@gtu.ge, kashibadzemarina08@gtu.ge

რეზიუმე

გადმოცემულია საქართველოს პოლიტექნიკური ინსტიტუტის (***სპი***, ტექნიკური უნივერსიტეტის 1990 წლიდან, ***სტუ***) „მართვის ავტომატიზებული სისტემების“ (***მას***) კათედრის (პროგრამული ინჟინერიის დეპ-ის 2021 წლიდან) 55 წლის ისტორია (1971-2026). მისი საგანმანათლებლო, სამეცნიერო და საზოგადოებრივ-ორგანიზაციულ ღონისძიებათა ძირითადი შედეგების მოკლე ისტორიული მიმოხილვა. წარმოდგენილია კათედრის დამაარსებლის, აკად. გოჩა ჩოგოვაძის და მისი აღზრდილი ახალგაზრდა თაობების კათედრაზე მოღვაწეობის მნიშვნელოვანი სამეცნიერო მიღწევები. კერძოდ, განხილულია ***მას***-კათედრის სამი თაობის ესტაფეტური ეტაპები: 1) გ. ჩოგოვაძე (I კათ. გამგე 1971-1980); 2) გ. გოგიჩაიშვილი (II კათ. გამგე 1981-2007, 2015) და 3) გ. სურგულაძე (მიმართულების ხელმძღვანელი 2008-დან, III კათ. გამგე 2016-2026). წარმოდგენილია ამ ეტაპებზე კათედრის თანმშრომელთა და სტუდენტთა ინოვაციური სამეცნიერო მიღწევები, საერთაშორისო კავშირები და კონფერენციები, აკადემიური პროცესის მდგრადი განვითარების დინამიკა სასწავლო პროცესის უწყვეტი სრულყოფის და მეცნიერული შედეგების პრაქტიკაში დანერგვის ფონზე. გამოკვეთილია მართვის ავტომატიზებული სისტემების, როგორც ორგანიზაციული მართვის (მენეჯმენტის) მეცნიერული მიმართულების მისია და ამოცანები.

საკვანძო სიტყვები: სპი. სტუ. მართვის ავტომატიზებული სისტემა. კომპიუტინგი. კომპიუტერული მეცნიერება. პროგრამული ინჟინერია. ხელოვნური ინტელექტი. განათლება. მეცნიერება. იუნესკოს კათედრა. ინფორმაციული საზოგადოება.

1. შესავალი

55 წლის არსებობის მანძილზე (1971-2026) „მართვის ავტომატიზებული სისტემების“ კათედრამ („პროგრამული ინჟინერიის“ დეპარტამენტი 2021 წლიდან) მნიშვნელოვანი როლი ითამაშა ***სპი***-ში როგორც ახალი მეცნიერული მიმართულების დაფუძნებასა და განვითარებაში, ასევე მაღალკვალიფიციური ახალგაზრდა ინჟინრების – „სისტემოტექნიკოსების“ გამოშვებაში. ეს სპეციალობა ძალზე აქტუალური, მნიშვნელოვანი და დეფიციტური იყო მთელ პოსტსაბჭოურ და აღმოსავლეთ ევროპის (სოციალისტური ქვეყნები II მსოფლიო ომის შემდეგ). ჩვენი კურსდამთავრებულები (უკვე 1976 წლიდან) ოფიციალურად 3 წლიანი სახელმწიფო დაკვეთით (სსრკ საგეგმო კომიტეტიდან) ნაწილდებოდნენ საქართველოშიც და სხვა სოც-რესპუბლიკების შესაბამის ორგანიზაციებში, კალინინგრადიდან - კამჩატკამდე.

როგორი მდგომარეობა იყო 1971 წლისთვის გამოთვლითი ტექნიკისა და ტექნოლოგიების თვალსაზრისით ? ძალიან მძიმე, ღარიბი ! საბჭოთა კავშირის სამეცნიერო სკოლა – მეცნიერებათა აკადემია (1925-1991) მოსკოვში, ნოვოსიბირსკსა და სოც-რესპუბლიკებში გამოირჩეოდნენ წარმატებებით ტრადიციულ მეცნიერებათა სფეროებში (მაგალითად, მათემატიკა, ფიზიკა, მედიცინა, განათლება, სამთო გეოლოგია, ენერგეტიკა, სოფლის მეურნეობა და სხვ.).

რაც შეეხება გამოთვლითი ტექნიკისა და ტექნოლოგიების სფეროს, აქ პრივილეგირებული ადგილი აშშ-ს ეკავა, შემდეგ ევროპას, იაპონიას და ა.შ. მაგალითად, 70-იან წლებში უბრალო

კალკულიატორიც კი არ არსებობდა და ძირითად საინჟინრო გაანგარიშებებს ე.წ. ლოგარითმული სახაზავებით („შიმშა“) ვასრულებდით. ზოგ ლაბორატორიას და ორგანიზაციას მექანიკური არიფმომეტრები ჰქონდათ დიდ რიცხვებზე არითმეტიკული ოპერაციების (+,-, *, /) შესასრულებლად. ***სპი***-ში (ადმინისტრაციული კორპუსის 1-ელ სართულზე) 1971 წ. დამონტაჟებული იყო საბჭოთა წარმოების 1-ელი თაობის ეგმ „Урал-4“ (ელ.მილაკებზე აგებული, თანაც მოსკოვის ერთ-ერთი ინსტიტუტის მეორადი პროდუქტი). სტუდენტებს პროგრამირებას (მაგ., Algol-60) ალგორითმულად ასაწავლიდნენ (პროგრამა და მანქანა ყველასთვის არ იყო მისაწვდომი).

ასეთ ვითარებაში 1971 წ. შექმნილი ***მას***-კათედრა და მისი გამგე, ტ.მ.კ. გოჩა ჩოგოვაძე რთულ წინაპირობებში იწყებდნენ მუშაობას როგორც მეცნიერული კუთხით, ასევე სტუდენტთა განათლებით. ***მას***-კათედრაზე ლექციების წასაკითხად გ. ჩოგოვაძის მიერ მოწვეულ იქნა საქ. მეცნიერებათა აკადემიის აკადემიკოსი, „ანალიზხელსაწყოს“ გენდირექტორი ზ. ყრუაშვილი, კიბერნეტიკის და მართვის სისტემების სამეცნიერო-კვლევითი ინსტიტუტების მეცნიერები. კათედრას მჭიდრო სამეცნიერო-ტექნიკური კავშირები ჰქონდა ქ. რუსთავის ქიმიური ბოჭკოს და მეტალურგიულ ქარხნებთან, ერთობლივი პროექტების შესასრულებლად (სურ.1).



სურ. 1. კათედრაზე შემუშავებული ტექნოლოგიური პროცესების მართვის სისტემა „ხერთვისი“ დაინერგა რუსთავის ქიმიური ბოჭკოს ქარხანაში (1974)

1975 წ. ***აგტ***-ფაკულტეტის გამოთვლითი ტექნიკის კათედრაზე (გამგე პროფ. ნ. გაბაშვილი) დამონტაჟდა საბჭოთა წარმოების დიდი ეგმ EC-1020, DOS ოპერაციული სისტემით. ჩვენი ამოცანების გადასაწყვეტ პროგრამებს და მონაცემებს ვამზადებდით პერფობარათების საშუალებით და პაკეტს ვტოვებდეით მისაღებ ოთახში. მის მანქანაზე გატარების შემდეგ შედეგები და ანალიზის ტექსტი გვხვდებოდა მეორე დღეს (შედეგებით, შესაძლო შეცდომებით და ა.შ.). ფაკულტეტის კათედრათა კოლეგები ველოდებით შედეგებს. ერთი პროგრამის გამართვა და საბოლოო შედეგების მიღება გრძელდებოდა რამდენიმე კვირა.

გ. ჩოგოვაძემ მოახერხა თანხების მოზიდვა კათედრაზე 1973 წ. შექმნილი დარგობრივი ლაბორატორიის ბაზაზე (მოსკოვის დამზადების სამინისტროდან – ამიერკავკასიის ***მას***-სისტემის შექმნის პროექტის ფარგლებში). 1979 წ. მას-კათედრაზე შეიქმნა გამოთვლითი ცენტრი: დიდი ეგმ EC-1022 და მინი-ეგმ „МИР-2“ მანქანების ბაზაზე. ***მას***-კათედრის სტუდენტები აქტიურად მუშაობდნენ მათთვის გამოყოფილი დროის ინტერვალებში. ისწავლებოდა Fortran, Cobol, PL/I, Prolog და სხვ. ენები. პირველი ასპირანტები ხდებიან იგორ ნოვოიავჩევი და სეით ისაკძე.

კათედრის დარგობრივი ლაბორატორიის უმც.მ.თ. გ. სურგულაძე, პირველად კათედრის ისტორიაში, მივლინებულ იქნა სამეცნიერო სტაჟირებისთვის გერმანიის ქ. მაგდებურგის ტექნიკური უნივერსიტეტის გამოთვლითი ტექნიკისა და მონაცემთა დამუშავების ფაკულტეტზე 1.10.74-1.09.75

წლებში. 1975 წ. გაზაფხულზე გ. ჩოგოვაძე წარმატებით იცავს *სპი*-ის *ავტ*-ფაკულტეტის სამეცნიერო საბჭოზე სადოქტორო დისერტაციას. ამავე წელს მოსკოვის ВАК ამტკიცებს დისერტაციას, იგი ხდება ტ.მ.დ და, ამასთანავე - პროფესორი. ამგვარად, 1971-1980 წლები (პროფ. გ. ჩოგოვაძე კათ. გამგე) გარდამავალი პერიოდი იყო, *სპი*-მა შეძლო საბჭოთა პერიოდში *ავტ*-ფაკულტეტზე გამოთვლითი ტექნიკის და ტექნოლოგიების არსებული რესურსების მოზიდვა, შეძლებისდაგვარად.

მას-კათედრის შემადგენლობა აკადემიური პერსონალის, დარგობრივი ლაბორატორიის, გამოთვლითი ცენტრის და სახელშეკრულებო სამეცნიერო პროექტების თანამშრომელებით განისაზღვრებოდა. გ. ჩოგოვაძის მიერ *მას*-კათედრის დაარსების 5 წლისთავისადმი მიძღვნილი პირველი სამეცნიერო-ტექნიკური კონფერენცია ჩატარდა 1976 წელს (სურ.2).



სურ. 2. მას-კათედრის თანამშრომელთა ერთი ჯგუფი (20 მაისი 1976)

ახალგაზრდა მეცნიერ-მკვლევართა რამდენიმე ჯგუფი აქტიურად მუშაობდა მართვის ავტომატიზებული სისტემების ფუნქციონალური და უზრუნველყოფის ქვესისტემების პროექტირებისა და პროგრამირების მიმართულებით: ი. ნოვოიავჩევი, ნ. კვანტალიანი, ნ. სილინსკი, ზ. გოგიშვილი, თ. კაპანაძე, ო. გაბედავა, ნ. როსტომაშვილი, ი. აბასოვი, ზ. ჩხაიძე, გ. ღვინეფაძე და სხვ. 1980 წელს გ. ჩოგოვაძის ხელმძღანელობით ასპირანტი გ. სურგულაძე, გერმანიაში სამეცნიერო სტაჟირების გავლის შემდეგ, პეტერბურგის ელექტრო-ტექნიკურ ინსტიტუტში იცავს იმ დროისთვის ინოვაციურ საკანდიდატო დისერტაციას მონაცემთა რელაციური ბაზების დაპროექტების ავტომატიზაციის საკითხებზე, ტოპოლოგიისა და ხელოვნური ინტელექტის მეთოდების გამოყენებით [1].

1981 წ. იანვარში პროფ. გ. ჩოგოვაძე მიემგზავრება საფრანგეთში, პარიზის UNESCO-ს შტაბბინაში სამუშაოდ, მან გაიმარჯვა საერთაშორისო კონკურსში და ხდება 5 წლით იუნესკოს განათლებისა და კულტურის დეპარტამენტის ხელმძღანელი.

სპი-ის *მას*-კათედრის გამგე 1981 წლიდან ხდება დოც, გ, გოგიჩაიშვილი, რომელიც პარალელურად მუშაობს სადოქტორო დისერტაციაზე და იცავს მას 1984 წ. ქ. მოსკოვში (МИФИ – მოსკოვის საინჟინრო-ფიზიკური ინსტიტუტი (ახლანდელი მოსკოვის ბირთვული უნივერსიტეტი). მას მიენიჭა ტ.მ.დ. - ხარისხი. ბატონი გოგი 1981-2007 წლებში ხელმძღვანელობდა *მას*-კათედრას. შემდეგ იგი ხდება 2008-2015 წლებში ორგანიზაციული მართვის სისტემების დეპარტამენტის უფროსი, რომელიც აერთიანებდა **მას**-კათედრის (პროგრამული ინჟინერიის) მიმართულებას (ხელმძღვანელი პროფ. გია სურგულაძე) და ეკონომიკური ინფორმატიკის მიმართულებას (ხელმძღვანელი პროფ. ნდარ ლომინაძე).

მას-კათედრაზე ახალგაზრდა მეცნიერები და ასისტენტები მუშაობდნენ რამდენიმე მიმართულებით, იცავენ დისერტაციებს. მაგალითად, ხელოვნური ინტელექტი და სიტუაციური

მართვა (გ. ნარეშელაშვილი, ზ. შურღაია, თ. სუხიაშვილი, ი. აბასოვი, ნ. ნარეზნოი, ვ. ხაჩიძე, გოგი ჯანელიძე და სხვ.), მონაცემთა რელაციური ბაზები (გ. ჩაჩანიძე, გ. ღარიბაშვილი, ვ. ქაჩიბაია (გერმანია), ზ. ჩხაიძე და ა.შ.), ავტომატიზებული მართვის თეორია და დაპროექტების ავტომატიზაცია (ვ. ცხვედაძე, ზ. გუმბერიძე (გერმანია), ნ. ნარეზნოი და სხვ.).

ახლა მოკლედ წარმოვადგენთ ***მას***-კათედრის წამყვანი ლექტორების განხორციელებული მეცნიერული სამუშაოების მოკლე მიმოხილვას:

– ***მას***-კათედრის დოცენტი გ. ჩაჩანიძე 1991 წელს (სამოქალაქო ომის შემდეგ, ძნელბედობის ჟამს) აფუძნებს მეცნიერებისა და საზოგადოების განვითარების ფონდს „ინტელექტი“, ავითარებს პედაგოგიკაში ინფორმაციული ტექნოლოგიების გამოყენების მიმართულებას, ატარებს სამეცნიერო კონფერენციებს თბილისსა და რეგიონებში. გამოსცემს წიგნებს „ალგებრა და საქართველოს მატიანე" (1991). „ანბანთქება" (1992). „პირამიდიდან სვეტიცხოვლამდე: გეომეტრიის ამოცანათა კრებული" (1997) და სხვ. 1993 წ. მარტში გ ჩაჩანიძე წარმატებით იცავს თსუ-ში სადოქტორო დისერტაციას პედაგოგიკის მეცნიერებათა დოქტორის ხარისხით. 1994 წ. ხდება ***პროფესორი***. ამავე წელს მან დააფუძნა საერთაშორისო სამეცნიერო ჟურნალი „ინტელექტი“, რომლის მთავარი რედაქტორიცაა დღემდე. პროფესორ გ. ჩაჩანიძის ხელმძღვანელობით დაცულია 70-ზე მეტი მეცნიერებათა და აკადემიური ხარისხის მისანიჭებელი დისერტაცია განათლების მენეჯმენტისა და ინფორმატიკის დიდაქტიკის საკითხებზე თბილისში, ქუთაისსა და თელავში;

– ***მას***-კათედრის დოცენტის ა. ცინცაძის აქტიური ძალისხმევით 1992 წელს სტუ-ში დაარსდა ჰუმანიტარულ-ტექნიკური ფაკულტეტი (შემდგომ ბიზნეს-ინჟინერინგის ფაკულტეტად გადაკეთებული და ბოლოს სამ ფაკულტეტად დაშლილი). დეკანი ა. ცინცაძე ამ პერიოდში იცავს მეცნიერებათა დოქტორის დისერტაციას (გ. ჩოგოვაძის კონსულტანტობით) და როგორც პროფესორი წარმატებით უძღვება ჰუმანიტარულ-ტექნიკური ფაკულტეტის მენეჯმენტის საქმიანობას. 2012 წლიდან იგი ***მას***-კათედრის პროფესორია და ხელმძღვანელობს სამეცნიერო მიმართულებას „ინფორმაციული ტექნოლოგიები ცივილიზაციურ მოდელებში“, რომელშიც მას საინტერესო და მნიშვნელოვანი სამეცნიერო შედეგები აქვს მიღებული;

– ***მას***-კათედრის პროფესორის, ბ. მეფარიშვილის და მისი მეუღლის, ასოც.პროფესორის გ. ჯანელიძის ენერგიული ძალისხმევით და ახალი ინფორმაციული ტექნოლოგიების შემოტანით სასწავლო პროცესში, მნიშვნელოვანად განახლდა სამივე საფეხურის პროგრამები. ესაა ძირითადად, დიდ მონაცემთა შენახვისა და დამუშავების ტექნოლოგიები, Hadoop-ეკოსისტემები, ბიზნესანალიტიკა, გენეტიკური ალგორითმები და პროგრამები და სხვ.;

– ***მას***-კათედრის პროფ. ო. შონიას მიერ ჩამოყალიბდა მეცნიერ-პედაგოგთა ჯგუფი (ი. ქართველიშვილი, თ. კაიშაური, კ. ოდიშარია, ლ. შონია, ა. ბიჩნიგაური და სხვ.). შეიქმნა და ვითარდება „მონაცემთა დაცვისა და კიბერუსაფრთხოების“ მიმართულება. ფუნქციონირებს სამაგისტრო პროგრამის კონცენტრაცია და გამოცემულია ქართულენოვანი სახელმძღვანელოები. დაცულია 20-ზე მეტი დისერტაცია ინფორმაციული უსაფრთხოების მიმართულებით;

– ***მას***-კათედრის პროფ. გ. ღვინეფაძის (კათედრაზე მუშაობს 1973 წლიდან) და მისი ახალგაზრდა კოლეგების, ასოც. პროფესორების ნ. ჩორხაულისა და ა. კეკენაძის ტრიომ Web-ტექნოლოგიების სფეროში შეძლო არა მხოლოდ თანამედროვე დონის კურსების მომზადება, არამედ ქართულენოვანი სპეც-ლიტერატურის ბაზის შექმნა ვებ-დეველოპმენტის მიმართულებით, ელექტრონული სახელმძღვანელოების სახით. ბატონი გელას ხელმძღანელობით დაცულია 20-ზე მეტი საკანდიდატო და აკადემიური დოქტორის ხარისხის დისერტაცია, ასევე, განსაკუთრებით საინტერესოა თავისუფალ კომპონენტად „კრეატიული აზროვნების საფუძვლების“ კურსის შემოტანა.

21-ე საუკუნის დასაწყისი ხასიათდება ***მას***-კათედრაზე „გენდერული“ სინდრომის გააქტიურებით მეცნიერული კვლევის მიმართულებაში. ტექნიკის მეცნიერებათა კანდიდატის ხარისხს

„ინფორმატიკის და მართვის სისტემების“ სადისერტაციო საბჭოზე (პირველად კათედრის ისტორიაში) იცავენ ჩვენი კათედრის ბაკალავრიატ-მაგისტრატურის კურსდამთავრებული ქალბატონები: ეკა თურქია, თამარ ლომინაძე, ლილი პეტრიაშვილი, ნინო თოფურია, მარინა კაშიბაძე, მაია ოხანაშვილი, ირინა ვაჭარაძე, გულნარა ჯანელიძე, ციური ფხაკაძე, ხატია ქრისტესიაშვილი, მარი ბიტარაშვილი, სოფიო სტომადოვა, ირმა ბერძენიშვილი და სხვ.;

მას-კათედრის კურსდამთავრებულები არ იყვნენ მხოლოდ ინფორმატიკის და პროგრამირების სპეციალისტები. შეისწავლიდნენ რა ორგანიზაციული მართვის (მენეჯმენტის) დისციპლინებს (ბიზნესის მართვის პროცესებს – თანამედროვე ტერმინებით), ისინი ქმნიდნენ ბიზნესის მენეჯმენტის პროცესების მხარდამჭერ საინფორმაციო სისტემებს. მრვალი მათგანი კი მეცნიერული ხარისხის მოპოვების შემდეგ გერმანიის (ან სხვა ქვეყნებში) ინიშნებიან სხვადასხვა დროს საქართველოს სრულუფლებიან ელჩებად ან წარმომადგენლებად: კანადაში – ვ. ქაჩიბაია, გერმანიასა და შემდეგ ავსტრიაში – კ. ზალდასტანიშვილი, აზერბაიჯანში – ზ. გუმბერიძე, მოლდოვაში – მ. ვაშაკიძე და ა.შ.

2001 წლიდან პროფ. გ. სურგულაძის ინიციატივით და ბერლინის ჰუმბოლდტისა და ნიურნბერგ-ერლანგენის უნივერსიტეტების მხარდაჭერით ***მას***-კათედრაზე შეიქმნა ***გერმანულ-ენოვანი სწავლების პროგრამა,*** „Wirtshafts-Informatik“ სპეციალობით (ფუნქციონირებდა 2010 წლამდე). აბიტურიენტები შემოდიოდნენ თბილისის გერმანული გიმნაზიებიდან და სკოლებიდან, გამოირჩეოდნენ სწავლის მაღალი მოტივაციით და აქტიურობით. სასწავლო პროცესში დაინერგა ძირითადი საგნების გამოცდების ჩაბარება ღია პრეზენტაციებით. რამდენიმე მათგანმა მოიპოვა სემესტრული გრანტი ავსტრიისა და გერმანიიის უნივერსიტეტებში (მ. მუჯირი და ა. გავარდაშვილი), შემდეგ კი წარმატებით დაიცვეს დისერტაციები (ნ. და ე. გოლილიძეები, ა. გავარდაშვილი).

2006 წელს ***მას***-კათედრამ აღნიშნა 35 წლის საიუბილეო თარიღი პროფ. გ. გოგიჩაიშვილის ხელმძღვანელობით (სურ.3). დეტალური ინფორმაცია შეიძლება იხილოთ ***მას***-კათედრის 55-წლისთავისადმი მიძღვნილ ორიგინალურ გამოცემაში [2]. სამწუხაროდ, ამ სურათზე რამდენიმე კოლეგა ვეღარ მოესწრო დღევანდელ 55 წლისთავს: მარცხნიდან - ლევან ჩხაიძე, სვეტა კვანტალიანი, ბელა რაზმაძე, გურამ ბუაძე, ომარ გაბედავა და შოთა მაკაროვი.



სურ. 3. მას-კათედრა 35 წლისაა (20 მაისი 2006)

XXI საუკუნის პირველი ათწლეული ***მას***-კათედრისთვის მეტად დატვირთული და ნაყოფიერი იყო საერთაშორისო სამეცნიერო გრანტების მოპოვებით და პროექტების შესრულებით. ჩვენი კათედრის პრეოფესურა მონაწილეობდა 2002-2006 წლებში მსოფლიო ბანკისა და უსაიდის პროექტებში საქართველოს სასამართლოების (იუსტიციის) და ჯანმრთელობის დაცვისა და სოცუზრუნველყოფის პროექრტებში. ასევე, 2006 წ. პროფ. სურგულაძის ინიციატივით და იმს-ფაკულტეტის საბჭოს მხარდაჭერით დაფუძნდა საერთაშოროსო პერიოდული სამეცნიერო შრომათა კრებული „მართვის ავტომატიზებული სისტემები“, რომელიც ფუნქციონირებს დღემდე. 2010 წელს სტუ-ის აკადემიური და წარმომადგენლობითი საბჭოების მხარდაჭერით იმს-ფაკულტეტზე დაფუძნდა თვითდაფინანსების სტატუსით „IT-კონსალტინგის ცენტრი“. მისი დანიშნულება სამეცნიერო პროექტების შესრულება, კონფერენციების ორგანიზება, დოქტორანტების, სტუდენტების და ახალგაზრდა მეცნიერების კონსულტაციები და მხარდაჭერაა (სამეცნიერო ნაშრომების მომზადების და საზღვარგარეთის უნივერსიტეტებში სტაჟირების რეკომენდაციებისთვის).

2. საერთაშორისო სამეცნიერო შრომათა კრებული „მართვის ავტომატიზებული სისტემები“ – 20 წლისაა (2006-2026)

სპი-ის პირველი სამეცნიერო შრომათა კრებული დაარსდა 1924 წელს, მისი პირველი რედაქტორის აკად. ნიკო მუსხელიშვილის მიერ. გამოდიოდა კვერტალურად, ISBN 1512-0996. იგი დღემდე გამოიცემა წარმატებით და მოიცავს სტუ-ის თითქმის ყველა ფაკულტეტის ძირითად სამეცნიერო მიმართულებებს. ***სპი***-ის გამომცემლობა აქვეყნებდა ასევე ცალკეული ფაკულტეტების სამეცნიერო შრომებს. მაგალითად, ***ავტ***-ფაკულტეტზე 1975 წლიდან გამოიცემოდა შრომათა კრებული „ტექნიკური კიბერნეტიკა“ (Техническая кибернетика), ISSN 0201-7164 (სტატიები იწერებოდა რუსულ ენაზე, ქართული და ინგლისური რეზიუმეებით). 1985 წლიდან ეს კრებული აღარ რეგისტრირდება ბიბლიოთეკის კატალოგებში.

მას-კათედრა, პროფ. გ. გოგიჩაიშვილის მეთაურობით და გ. ჩოგოვაძის მხარდაჭერით პარიზიდან, აქტიურად ემზადებოდა თავისი 35-წლის იუბილის აღსანიშნავად 2006 წლის 20 მაისს. პროფ. გ. სურგულაძის ინიციატივით, ჯერ მას-კათედრაზე და შემდეგ იმს-ფაკულტეტის საბჭოზე (დეკანი პროფ. ზ. წვერაიძე) გამოტანილ იქნა დადგენილება ახალი საერთაშორისო სამეცნიერო ჟურნალის გამოცემის შესახებ (23.02.2005). სტუ-ის აკადემიურმა საბჭომ (რექტორი პროფ. რ. ხუროძე) დაამტკიცა დადგენილება და გადაეგზავნა იგი საქართველოს პარლამენტის ბიბლიოთეკას საჭირო პროცედურების შესასრულებლად. 2006 წლის გაზაფხულზე შრომათა კრებულს „მართვის ავტომა-ტიზებული სისტემები“ მიენიჭა პერიოდული გამოცემის საერთაშორისო ინდექსი ISSN 1512-3979 (print). კრებულის პირველ ნომერში დაიბეჭდა ***მას***-კათედრის 35-წლისთავისადმი მიძღვნილი საერთაშორისო კონფერენციის შრომები. 20 წელია რაც პერიოდულად გამოიცემა ეს შრომათა კრებული (პროფ. გ. სურგულაძის რედაქტორობით). სტუ-ის საიტზე მას აქვს ვებგვერდი (https://gtu.ge/Journals/mas/), სადაც განთავსებულია ყველა (1-:-40) ნომერი, სტატიების ღია წვდომით. დღეისათვის დაახლოებიათ 1500 სტატიაა გამოქვეყნებული, საქართველოს, აშშ-ის, გერმანიის, უნგრეთის, რუსეთის და პოსტსაბჭოური ქვეყნების უნივერსიტეტების კოლეგების მიერ. 2016 წ. კრებულს მიენიჭა ელ-გამოცემის EISSN 1512-2174 (online) სერიული ნომერი, ხოლო 2022 წ. კი საქ. ტექინფორმის მიერ – ციფრული იდენტიფიკატორი DOI.org/10.36073/1512-3979 (ვინაიდან იგი აკმაყოფილებდა საერთაშორისო გამოცემის სტანდარტებს). კრებულში დაახლოებით 30% წარმატე-ბულ სტუდენტთა (დოქტორანტ/მაგისტრანტების) და ჩვენი კოლეგების ნაშრომებია (სურ.4).

მას-კათედრის *საიუბილეო საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენციების მონაწილეთა შრომები* დაიბეჭდა კრებულის შემდეგ ნომრებში: **2006** (N1, კათ. 35 წ.), **2011** (N10, კათ. 40 წ.), **2016** (N21, კათ.45 წ.), **2021** (N32-სამი ტომი, კათ. 50 წ.) და სტუ-ის UNESCO-ს კათედრის „ინფორმაციული საზოგადოება“ 15 წლისთავის საიუბილეო კონფერენცია) **2018** (N2-26).



სურ. 4. მას-კათედრის (პროგრამული ინჟინერიის დეპ.) წარმატებული კურსდამთავრებულები (1976-2026 წწ.)

ლიტერატურა – References – Литература:

1. Chogovadze G., Surguladze G., Chachanidze G. (1977). Designing of Relational Databases and Issues of Communication in Them. Abstracts of the 1-st All-Union School-Seminar "Intellectual Information Banks". - M. MEPhI-GPI. Sukhumi, 23.09-2.10.1977, pp.55-58 (in Russian)
2. Surguladze G., Lominadze T., Zhvania T., Petriashvili L., Nareshelashvili G. (2026). The Department of Automated Control Systems at GTU is 55 years old. ISBN 978-9941-8-8845-8. „IT-Consulting scientific center" of GTU, Tbilisi, 200 p. (in Georgian)

(სტატია მიღებულია 15.07.2026)

SCIENTIFIC AND ACADEMIC ACHIEVEMENTS OF THE DEPARTMENT OF AUTOMATED CONTROL SYSTEMS of GTU OVER 55 YEARS

Surguladze Gia, Petriashvili Lili, Nareshelashvili Gulbaat,
Okhanashvili Maia, Kashibadze Marina

g.surguladze@gtu.ge, l.petriashvili@gtu.ge, gul1948@mail.ru,
m.okhanashvili@gtu.ge, kashibadzemarina08@gtu.ge

Summary

The 55-year history (1971–2026) of the Automated Control Systems (ACS) Department at the Georgian Polytechnic Institute (renamed the Georgian Technical University - GTU, in 1990; designated the Software Engineering Department in 2021) is presented. A brief historical overview outlines the key results of the department's educational, scientific, and organizational activities. Significant scientific achievements of the department's founder, Academician Gocha Chogovadze, and the younger generation of staff members he mentored are highlighted. In particular, the succession of three generations of department leadership is examined: 1) G. Chogovadze (1st Head of Dep., 1971–1980); 2) G. Gogichaishvili (2nd Head of Dep., 1981–2007, 2015); and 3) G. Surguladze (Head of the ACS program since 2008; 3rd Head of Dep. Software Engineering, 2016–2026). The text details innovative scientific achievements by staff and students across these periods, international collaborations and conferences, and the sustainable development of academic activities, set against a backdrop of continuous educational improvement and the practical implementation of research findings. Finally, the mission and objectives of automated control systems as a scientific field within organizational management are presented.

(Received 15.07.2026)

НАУЧНЫЕ И АКАДЕМИЧЕСКИЕ ДОСТИЖЕНИЯ КАФЕДРЫ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ГТУ ЗА 55 ЛЕТ

Сургуладзе Г., Петриашвили Л., Нарешелашвили Г.,
Оханашвили М., Кашибадзе М.

g.surguladze@gtu.ge, l.petriashvili@gtu.ge, gul1948@mail.ru,
m.okhanashvili@gtu.ge, kashibadzemarina08@gtu.ge

Резюме

Представлена 55-летняя история (1971-2026) кафедры АСУ Грузинского политехнического института (с 1990 г., Технический университет, ГТУ) (с 2021 г. – департамент Программной инженерии). Приведен краткий исторический обзор основных результатов ее образовательной, научной и общественно-организационной деятельности. Представлены значительные научные достижения основателя кафедры, академика Гочи Чоговадзе, и молодого поколения сотрудников, которое он воспитал на кафедре. В частности, рассмотрены этапы смены трех поколений кафедры АСУ: 1) Г. Чоговадзе (1-й зав.кафедрой 1971-1980 гг.); 2) Г. Гогичаишвили (2-й зав.кафедрой 1981-2007, 2015 гг.) и 3) Г. Сургуладзе (зав. направлением АСУс 2008 г., 3-й зав.кафедрой 2016-2026 гг.). Представлены инновационные научные достижения сотрудников и студентов кафедры на этих этапах, международные связи и конференции, динамика устойчивого развития академического процесса на фоне непрерывного совершенствования образовательного процесса и внедрения научных результатов в практику. Представлены миссия и цели автоматизированных систем управления как научного направления организационного менеджмента.

(Поступила 15.07.2026)

STRUCTURE IDENTIFICATION OF NONLINEAR DYNAMIC SYSTEMS USING BLOCK-ORIENTED MODELS WITH FEEDBACK

Shanshiashvili Besarion, Shanshiashvili Giorgi

Georgian Technical University
b.shanshiashvili@gtu.ge, giorgi.shan@gmail.com

Abstract

The problem of structure identification for nonlinear dynamic systems operating with positive feedback in the frequency domain, under conditions where harmonic signals are introduced into the system, is considered. The problem is considered on a set of feedback block-oriented models, the elements of which are a linear model with nonlinear feedback, a nonlinear model with linear feedback, and Hammerstein and Wiener models with unit feedback. The equations of the models are compiled taking into account the features of such systems functioning in manufacturing. The developed method is based on the use of input-output data of the system, obtained as a result of conducting an active experiment in the system. A criterion for determining a model from a set of models is developed. The accuracy of the obtained results is investigated by computer modeling.

Keywords: identification, nonlinear system, feedback, structure, dynamics.

1. Introduction

For the control of systems operating in production, it is crucial to have information about the processes taking place within them, in the form of mathematical expressions, i.e., mathematical models.

Most production processes are nonlinear in nature, possessing specific properties that differ from those of linear systems. For example, the principle of superposition is not valid for nonlinear systems. When a harmonic signal enters the system, non-resonant, resonant, and subharmonic oscillations may be induced, depending on the initial conditions. In certain cases, resonance may occur. In the absence of oscillatory influences entering the nonlinear system, auto-oscillations may occur. In this case, in a nonlinear system, it is not possible to discuss the stability of the entire system. It is necessary to study the stability of individual motions received at the system's output.

Obviously, there are more characteristic features of nonlinear systems, and their list can be continued.

A more complex class of nonlinear production systems is characterized by systems operating with positive feedback, where part of the material received at the system's output, which remains unprocessed to the required condition, is returned to the system's input through a feedback channel for reprocessing. To obtain a stable, steady-state motion at the output of such systems, it is necessary to impose clear restrictions on the input signal and system parameters.

A full representation of nonlinear systems, due to the peculiarities of the processes occurring in them, is possible only with nonlinear models.

When building a system model using system identification methods [1], it is necessary to solve various problems based on the available a priori information about the system. Out of these problems, the most important is determining the model structure, which requires solving the structure identification

problem. Since the selection of an adequate structure for the model system significantly determines the successful solution of other identification problems, such as estimating system parameters and states.

Nonlinear systems are typically represented by block-oriented models [2], which are defined by various combinations of linear dynamical loops and nonlinear static loops, or by general models, such as Volterra and Wiener series [3-4], and Kolmogorov-Gabor polynomials [5-6]. Block-oriented models are more often used to represent industrial systems, due to their relative simplicity.

The structure of block-oriented models is typically determined according to the classical scheme of system identification, namely, by using the physical laws governing the process occurring in the system under consideration or based on a priori information. Later, works appeared [7-9], in which the structure of block-oriented models was determined based on observations of the input-output variables of the system in accordance with the classical definition of Lotfi Zadeh's system identification, i.e., it was assumed that the classes of models and input signals were known, and it was necessary to develop an equivalence criterion when choosing a structure.

In modern conditions, the majority of works devoted to determining the structure of a model of nonlinear systems concern the identification of open systems (for example, [10-14]). A relatively small number of works (for example, [15-16]) discuss the problem of structure identification of systems operating with feedback. However, it should be noted that there are other approaches to solving the problem of structure identification of feedback systems (for example, [17-18]).

This paper considers the problem of structural identification of feedback dynamical systems in the frequency domain, taking into account the features of the functioning of such systems in production, on the set of block-oriented models, the elements of which are: linear model with nonlinear feedback, nonlinear model with linear feedback, Hammerstein model with unitary feedback, Wiener model with unitary feedback. A similar problem of identification was previously considered on the sets of two-element feedback block-oriented models [19] and [20].

2. Classes of Models and Input Signals

We define the model structure of feedback nonlinear systems in the following set of block-oriented models:

$$L=\{s_i \mid i=1,2,3,4\}, \tag{1}$$

where - is a linear model with nonlinear feedback, - is a nonlinear model with linear feedback, - is a Hammerstein model with unitary feedback, - is a Wiener model with unitary feedback (Fig. 1).

In the general case, the models are described by the equations:

- **Linear model with nonlinear feedback**

$$y(t)=W(p)\{u(t)+f[y(t)]\}. \tag{2}$$

- **Nonlinear model with linear feedback**

$$y(t)=W^{-1}(p)\{f^{-1}[y(t)]-u(t)\}. \tag{3}$$

- **Hammerstein model with unit feedback**

$$y(t)=W^{-1}(p)\{f^{-1}[y(t)]-u(t)\}. \tag{4}$$

- **Wiener model with unit feedback**

$$y(t)=W^{-1}(p)\,f^{-1}\left[y(t)\right]-u(t). \tag{5}$$

3)

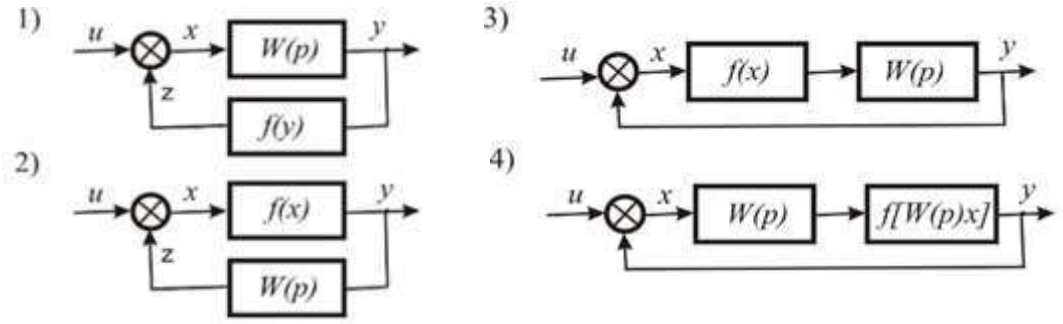


Fig.1. The block-oriented models with feedback: 1) linear model with nonlinear feedback; 2) nonlinear model with linear feedback; 3) Hammerstein model with unit feedback; 4) Wiener model with unit feedback.

In production, in particular, in mining and metallurgy, chemical, cement, pulp and paper, ecology, and other industries, closed-loop systems are widely used, for example, grinding units, the dynamic part of which is approximated by a first-order ordinary differential equation, the transfer function of which is:

$$W(p)=\frac{1}{Tp+1}. \tag{6}$$

and the nonlinear part is represented by a second-degree polynomial function:

$$f(x)=c_1x+c_2x^2. \tag{7}$$

where in (6) p denotes the differentiation operator, i.e. $p\equiv d/dt$, and in (7) there is no free term, since no signal is received at the output of the feedback system when the input signal is zero.

If we take into account expressions (6) and (8) in equations (2) – (5), after several transformations, we obtain the differential equations describing the models:

- **Linear model with nonlinear feedback**

$$\frac{dy}{dt}=-\frac{1-c_1}{T}y+\frac{c_2}{T}y^2+\frac{1}{T}u(t). \tag{8}$$

- **Nonlinear model with linear feedback**

$$\frac{dv}{dt}=-\frac{1}{T}v+\frac{1}{T}c_2v^2+\dot{u}(t)+\frac{1}{T}u(t)+\frac{1}{T}\left(\beta-c_2\beta^2\right), \tag{9}$$

$$y=c_2v^2-c_2\beta^2, \tag{10}$$

where

$$\beta=\frac{c_1}{2c_2},\quad v=\sqrt{\beta^2+\frac{1}{c_2}y}\,. \tag{11}$$

- **Hammerstein model with unit feedback**

$$\frac{dx}{dt}=-\frac{1-c_1}{T}x+\frac{c_2}{T}x^2+\dot{u}(t)+\frac{1}{T}u(t), \tag{12}$$

$$y(t)=x(t)-u(t). \tag{13}$$

- **Wiener model with unit feedback**

$$\frac{dv}{dt}=-\frac{1}{T}v+\frac{1}{T}c_2v^2+\frac{1}{T}u(t)+\frac{1}{T}\left(\beta-c_2\beta^2\right), \tag{14}$$

where β and v are defined by (11) expressions.

$$u(t)=A\sin\omega t+B, \tag{15}$$

Where $B>A$, since in closed-loop production systems, no product is produced at the output under conditions of zero input material.

3. Structure Identification

To solve the structure identification problem, it is necessary to solve the Riccati differential equations corresponding to the models, taking into account (15) and the conditions for obtaining stable motions in the steady-state mode on the system output.

In [21], it was established that under the following constraints on the static parameters of the system and the input signal:

$$0<c_1<1,\ \ 0<c_2, \tag{16}$$

$$\bar{x}<\frac{1-c_1}{2c_2}, \tag{17}$$

a stable motion is obtained in the steady-state mode at the system output, where $\bar{x}$ is the value of the system input signal in the steady-state mode.

Analysis of expressions (16) and (17) shows that $c_2 \ll c_1$ and c_2 can be considered as small parameters. Therefore, it is possible to use the small parameter method to solve the Ricatti equations (8), (9), (12), and (14), and find the solution of the equations in the following form:

$$x(t)=\sum_{n=0}^{\infty}\mu^n x_n(t), \tag{18}$$

where μ - is a small parameter and we can assume that $\mu=c_2$.

If we limit ourselves to two terms in the series (18) and solve equations (8), (9), (12) and (14) by the small parameter method and do not take into account the second and higher order small ones, then taking into account expressions (10), (11) and (13), we obtain the expressions of forced oscillations at the outputs of the models in the steady state:

- **Linear model with nonlinear feedback**

$$y=\frac{B}{1-c_1}+\frac{c_2B^2}{(1-c_1)^3}+\frac{c_2A^2}{2(1-c_1)\left[(1-c_1)^2+\omega^2T^2\right]}+H_1. \tag{19}$$

- **Nonlinear model with linear feedback**

$$y=c_2B^2+\frac{c_1}{2}-\frac{c_1^2}{4c_2}+H_2. \tag{20}$$

- **Hammerstein model with unit feedback**

$$y(t)=\frac{B}{1-c_1}+\frac{c_2B^2}{(1-c_1)^3}-B+\frac{c_2A^2\left(1+\omega^2T^2\right)}{2(1-c_1)\left[(1-c_1)^2+\omega^2T^2\right]}+H_3. \tag{21}$$

- **Wiener model with unit feedback**

$$y = c_2 B^2 + \frac{c_1}{2} - \frac{c_1^2}{4c_2} + \frac{c_2 A^2}{2\left(1+\omega^2 T^2\right)} + H_4 . \qquad (22)$$

In the expressions (19) - (22) $H_i \ \left(i = 1,2,3,4\right)$ denote sums of the harmonics of the output oscillations of the models, the expressions of which are not given here due to their large volume.

If we take into account the fact that in production systems the dynamic characteristic $T > 1$, then the analysis of figures (19) - (22) allows us to determine the criterion for choosing the model structure on the set (1):

- Nonlinear model with linear feedback - the constant component of the output periodic signal does not depend on the change in the frequency of the input harmonic signal;
- Hammerstein model with unit feedback - the constant component of the output periodic signal increases when the frequency of the input harmonic signal increases;
- Linear model with nonlinear feedback, Wiener model with unit feedback - the constant component of the output periodic signal decreases when the frequency of the input harmonic signal increases.

The structures of the nonlinear feedback linear model and the unit feedback Wiener model can be distinguished from each other through additional studies due to their structural features.

4. Identification accuracy

The reliability of the results obtained when using system identification methods for modeling systems in production conditions depends on the accuracy of measuring the system's input and output signals, and on the mathematical processing of experimental data.

One of the crucial steps in building a system model using system identification methods is assessing the model's adequacy in relation to the real system. The adequacy issue is usually investigated by supplying the same signal to the inputs of the system and the constructed model and comparing the resulting signals at their outputs according to the magnitude of the error. If production conditions do not allow for active experiments, then the accuracy of the modeling is investigated by means of computer modeling.

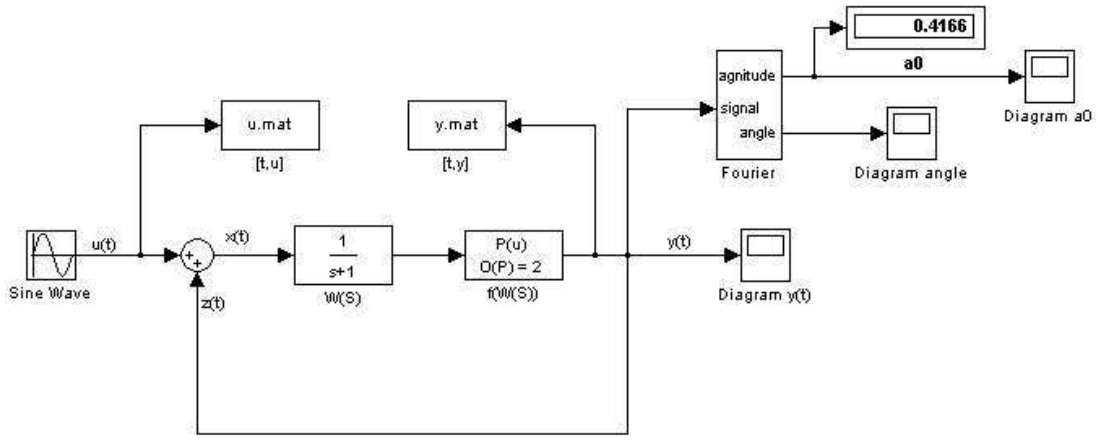


Fig. 2. Electronic diagram of the Wiener model with unit feedback

The research on the developed method for structure identification of feedback nonlinear systems was conducted using computer modeling, specifically with MATLAB, under conditions where harmonic influences

entered the system in the frequency domain. Fig. 2 and Fig.3 show, for example, Electronic diagram and the dependence of the constant component of the output periodic signal on the frequency of the input sinusoidal signal of some nonlinear models of the set of models (1).

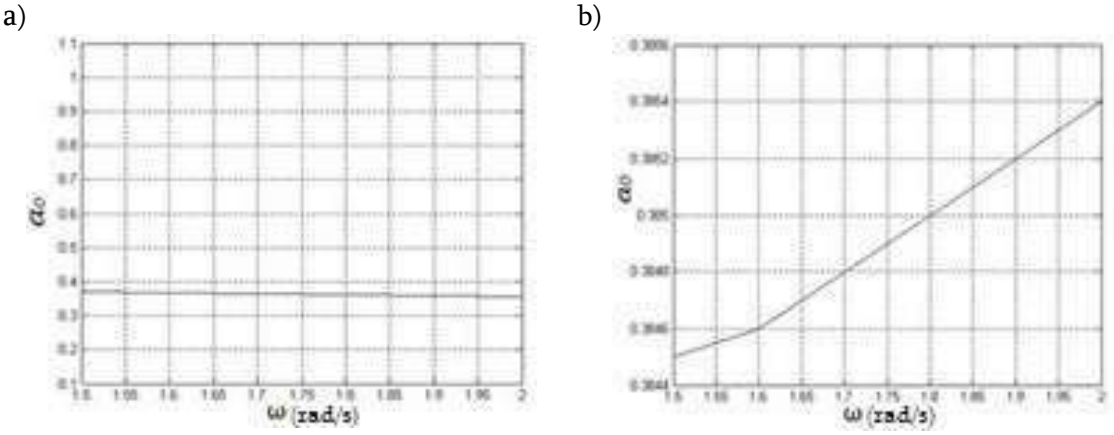


Fig. 3. Dependence $a_0 = f(\omega)$: a) for a nonlinear model with linear feedback, 2) for a Hammerstein model with unit feedback

5. Conclusion

For nonlinear systems widely used in production, which operate with positive feedback, the solution of identification problems becomes even more complicated compared to open systems. In such systems, depending on the identification goals, when experimenting, it is necessary to take into account sufficient conditions for the stability of each motion obtained at the output of the system, because, for example, in a steady state, a stable motion is possible at certain values of the system parameters and when the input signal changes to a certain level. To determine the analytical representations of the output variables of such systems, it is necessary to solve nonlinear differential equations, which is associated with mathematical difficulties.

In this paper, a method for structural identification of feedback nonlinear systems in the frequency domain under the conditions of harmonic signals entering the system under study is developed. The developed structural identification criterion allows for the determination of an adequate model for the system from a set of feedback block-oriented models in a systematic manner. The accuracy of the method has been analyzed based on computer modeling.

References – ლიტერატურა – Литература:

1. Eykhoff, P. (1974). *System identification. parameter* and *state estimation.* John Wiley and Sons Ltd, London.

2. Haber, R. and Keviczky, L. (1976). Identification of nonlinear dynamic systems. Preprints of the IV IFAC Symposium on Identification and System Parameter Estimation, Moscow, Institute of Control Sciences, part 1, pp. 62-112.

3. Volterra, V. (1959). Theory of Functionals and of Integral and Integro-Differential Equations. Dover Publ., New York.

4. Wiener, N. (1958). Nonlinear Problems in Random Theory. Wiley, New York.

5. Kolmogorov, A. N. (1941). Interpolation and extrapolation of stationary random series. Bulletin of the Academy Sciences of USSR,. Mathematical series, vol. 5, no.1, pp. 3-14.

6. Gabor, **L.,** Wilby, P.L., and Woodcook, R. (1961). A universal nonlinear filter predictor and simulator which optimizes itself by a learning process. IEE Proceedings, vol. 108, part B, pp. 422-433.

7. Shanshiashvili B.G. (1988). 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, pp. 933-938.

8. Haber R., Unbehauen H. (1990). Structure identification of nonlinear dynamic systems – a survey on input/output approaches. Automatica. 26(4), pp. 651-667.

9. Shanshiashvili B.G. (1991). 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, pp. 640 – 643.

10. Giri, F., Bai, E-W. (eds). (2010). Block-oriented Nonlinear System Identification. Springer, Berlin.

11. Billings, SA. (2013). Nonlinear system identification: NARMAX methods in the time, frequency, and spatio-temporal domains. John Wiley & Sons Ltd , London.

12. Karabutov N. (2016.). Structural Identification of nonlinear dynamic systems. In: Preprints of the IFAC Conference on Manufacturing Modelling, Management, and Control. Troyes, France; pp. 854-859.

13. Shanshiashvili B. and Prangishvili A. (2017). Structure identification of continuous nonlinear dynamical systems. In: Proceedings of the 21st International Conference Knowledge-Based and Intelligent Information & Engineering System, KES-2017. Procedia Computer Science, vol. 112, pp. 1032-1043.

14. Shanshiashvili B., Prangishvili A. and Tsveraidze Z. (2019). Structure Identification of Continuous-Time Block-Oriented Nonlinear Systems in the Frequency Domain. *IFAC-PapersOnLine, vol. 52, Issue 13,* pp. 463-468.

15. Salukvadze M., Shanshiashvili B. (2013). Identification of nonlinear continuous dynamic systems with closed cycle. International Journal of Information Technology & Decision Making, vol. 12, no. 2, pp. 179-199.

16. Prangishvili A., Shanshiashvili B., Tsveraidze Z. (2016). Identification of nonlinear dynamic systems with feedback of manufacturing processes. ScienceDirect. *IFAC-PapersOnLine, vol. 49, issue 12,* pp. 580-585.

17. Burghi T., Schoukens M., Sepulchre R. (2019). Feedback for nonlinear system identification. *18th European Control Conference (ECC),* pp. 1344-1349.

18. Shakib M.F., Toth R., Pogromsky A.Y., Pavlov A., van de Wouw N. (2020). State-space kernelized closed-loop identification of nonlinear systems. Preprints of the 21st IFAC World Congress (Virtual) Berlin, pp. 1148-1153.

19. Shanshiashvili B. (2023). 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. Publishing House "Technical University", pp.145-153.

20. Shanshiashvili B., Kavlashvili N. (2025). Identification of one class of closed-loop nonlinear dynamic systems in the frequency domain. Modern Challenges and Achievements in Information and Communication Technologies IV International Scientific – Practical Conference. Transactions. Publishing House - Technical University, pp. 158-165.

21. Arefiev B.A. (1969). Inertial processes optimization. Mashinostroenie, Leningrad, (in Russian).

(Received 10.05.2026)

არაწრფივი დინამიკური სისტემების სტრუქტურული იდენტიფიკაცია უკუკავშირიანი ბლოკურად-ორიენტირებული მოდელებით

ბესარიონ შანშიაშვილი, გიორგი შანშიაშვილი
საქართველოს ტექნიკური უნივესიტეტი
b.shanshiashvili@gtu.ge, giorgi.shan@gmail.com

რეზიუმე

განხილულია დადებითი უკუკავშირით ფუნქციონირებადი არაწრფივი დინამიკური სისტემების სტრუქტურული იდენტიფიკაციის ამოცანა სიხშირულ არეში, სისტემის შემავალი ჰარმონიული სიგნალების პირობებში. ამოცანა განიხილება უკუკავშირიანი ბლოკურად-ორიენტირებული მოდელების სიმრავლეზე, რომლის ელემენტებია წრფივი მოდელი არაწრფივი უკუკაშირით, არაწრფივი მოდელი წრფივი უკუკაშირით, ჰამერშტეინისა და ვინერის მოდელები ერთეულოვანი უკუკაშირით. მოდელების განტოლებები შედგენილია ასეთი სისტემების წარმოებაში ფუნქციონირების თავისებურებების გათვალისწინებით. შემუშავებული მეთოდი ეფუძნება სისტემის შემავალ-გამომავალ მონაცემების გამოყენებას, მიღებულს სისტემაში აქტიური ექსპერიმენტის ჩატარების შედეგად. შემუშავებულია მოდელის განსაზღვრის კრიტერიუმი მოდელთა სიმრავლიდან. მიღებული შედეგების სიზუსტე გამოკვლეულია კომპიტერული მოდელირების საშუალებით.

(სტატია მიღებულია 10.05.26)

СТРУКТУРНАЯ ИДЕНТИФИКАЦИЯ НЕЛИНЕЙНЫХ ДИНАМИЧЕСКИХ СИСТЕМ С БЛОЧНО-ОРИЕНТИРОВАННЫМИ МОДЕЛЯМИ С ОБРАТНОЙ СВЯЗЬЮ

Шаншиашвили В., Шаншиашвили Г.
Грузинский Технический Университет
b.shanshiashvili@gtu.ge, giorgi.shan@gmail.com

Резюме

Рассматривается проблема структурной идентификации нелинейных динамических систем, работающих с положительной обратной связью в частотной области, при условии поступления в систему гармонических сигналов. Рассматривается задача для набора блочно-ориентированных моделей обратной связи, элементами которых являются линейная модель с нелинейной обратной связью, нелинейная модель с линейной обратной связью, а также модели Хаммерштейна и Винера с унитарной обратной связью. Уравнения моделей составлены с учетом особенностей функционирования таких систем в производстве. Разработанный метод основан на использовании вход-выходных данных системы, полученных в результате проведения активного эксперимента над системой. Разработан критерий определения модели из набора моделей. Точность полученных результатов исследована с помощью компьютерного моделирования.

(Поступила 10.05.2026)

Oracle Database-ის მონაცემთა დაშიფვრის მექანიზმები: TDE და VPD-ის შედარებითი ანალიზი და პრაქტიკული გამოყენება

იოსებ ქართველიშვილი[1], გიორგი კუჭავა[1], დავით მეგრელიშვილი[2]

1-საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

2-ბიზნესისა და ტექნოლოგიების უნივერსიტეტი (თბილისი)

s.kartvelishvili@gtu.ge, kuchavagiorgi08@gtu.ge, davit.megrelishvili.1@btu.edu.ge

რეზიუმე

წინამდებარე სტატია იკვლევს Oracle Database-ის შიფრაციის ორ ძირითად მექანიზმს: Transparent Data Encryption (TDE) და Virtual Private Database (VPD). კვლევის მიზანია აღნიშნული ორი ტექნოლოგიის შედარებითი ანალიზი, მათი გამოყენების სფეროების განსაზღვრა და პრაქტიკული რეკომენდაციების შემუშავება კორპორატიული მონაცემთა ბაზების დაცვის გაძლიერებისთვის. კვლევა მოიცავს TDE-ის სვეტის, ცხრილის და Tablespace დონის დაშიფვრის მიდგომებს, ასევე VPD-ის Row-Level Security მექანიზმს. ანალიზი ცხად ყოფს, რომ TDE და VPD ავსებენ ერთმანეთს და მათი ერთობლივი გამოყენება უზრუნველყოფს მონაცემთა ბაზის მრავალშრიან დაცვას.

საკვანძო სიტყვები: Oracle Database.TDE. VPD. მონაცემთა დაშიფვრა. მონაცემთა ბაზის უსაფრთხოება. Row-Level Security.

1. შესავალი

თანამედროვე ციფრულ ეპოქაში მონაცემთა უსაფრთხოება კორპორატიული სტრატეგიის განუყოფელ ნაწილს წარმოადგენს. ორგანიზაციები სულ უფრო მეტ კრიტიკულ ინფორმაციას ინახავენ მონაცემთა ბაზებში, რაც მათ მიმართ კიბერთავდასხმების სიხშირეს და მაშტაბს მნიშვნელოვნად ზრდის. IBM Security-ის 2023 წლის მოხსენების თანახმად, მონაცემთა გაჟონვის საშუალო ღირებულება გლობალურად 4.45 მილიონ აშშ დოლარს შეადგენს, რაც ისტორიულ მაქსიმუმს წარმოადგენს [1].

Oracle Database, როგორც მსოფლიოში ყველაზე ფართოდ გამოყენებული კორპორატიული მონაცემთა ბაზის მართვის სისტემა, გთავაზობს უსაფრთხოების მრავალ ინსტრუმენტს. მათ შორის განსაკუთრებული ადგილი უკავია Transparent Data Encryption (TDE) და Virtual Private Database (VPD) ტექნოლოგიებს, რომლებიც მონაცემთა დაცვის სხვადასხვა შრეებზე მოქმედებენ [2].

TDE უზრუნველყოფს დისკზე შენახული მონაცემების დაშიფვრას ანუ დაცულს ხდის არასანქცირებული წვდომისგან, სერვერის ოპერაციული სისტემის დონეზე. VPD სრულიად განსხვავებული ლოგიკით მოქმედებს TDE-სგან, მისი მეშვეობით განისაზღვრება ვის შეუძლია ნახოს კონკრეტული სტრიქონები ცხრილში SQL მოთხოვნის გაშვების დროს. ორივე მექანიზმის ერთობლივი გამოყენება ქმნის მონაცემთა ბაზის უსაფრთხოების ძლიერ, მრავალშრიან სისტემას [3].

წინამდებარე კვლევა მიზნად ისახავს აღნიშნული ორი ტექნოლოგიის სიღრმისეულ შედარებით ანალიზს, მათი ძლიერი და სუსტი მხარეების გამოვლენას და პრაქტიკული რეკომენდაციების შემუშავებას Oracle Database-ის ადმინისტრატორებისა და უსაფრთხოების სპეციალისტებისთვის.

2. ძირითადი ნაწილი

Oracle Corporation-ის ოფიციალური დოკუმენტაცია TDE-ს წარმოადგენს როგორც FIPS 140-2 სტანდარტთან თავსებადი გადაწყვეტილებას, რომელიც იყენებს AES-256 ან 3DES168 ალგორითმებს [6]. Oracle 12c ვერსიიდან დაწყებული TDE მნიშვნელოვნად გაფართოვდა და Tablespace-ის სრული დაშიფვრის შესაძლებლობა მიიღო, რაც მის ადმინისტრირებას ამარტივებს [7].

VPD-ის კვლევის კუთხით, აღსანიშნავია VPD Policy, ფუნქციების სწორი დიზაინი გადამწყვეტია სისტემის წარმადობისთვის, განსაკუთრებით დიდი მოცულობის ცხრილებთან მშაობისას [8]. TDE და VPD-ის კომბინაცია წარმოადგენს Defense in Depth სტრატეგიის გამოხატულებას Oracle გარემოში [9].

TDE-ის არსი და მუშაობის პრინციპი

Transparent Data Encryption (TDE) წარმოადგენს Oracle Database-ში ჩაშენებულ ტექნოლოგიას, რომელიც ავტომატურად შიფრავს მონაცემებს მათი დისკზე ჩაწერის დროს და ავტომატურად ხსნის დაშიფვრას წაკითხვისას. Transparent ნიშნავს, რომ აღნიშნული პროცესი სრულიად გამჭვირვალეა აპლიკაციებისთვის, მათ კოდის არანაირი ცვლილება არ სჭირდებათ [2].

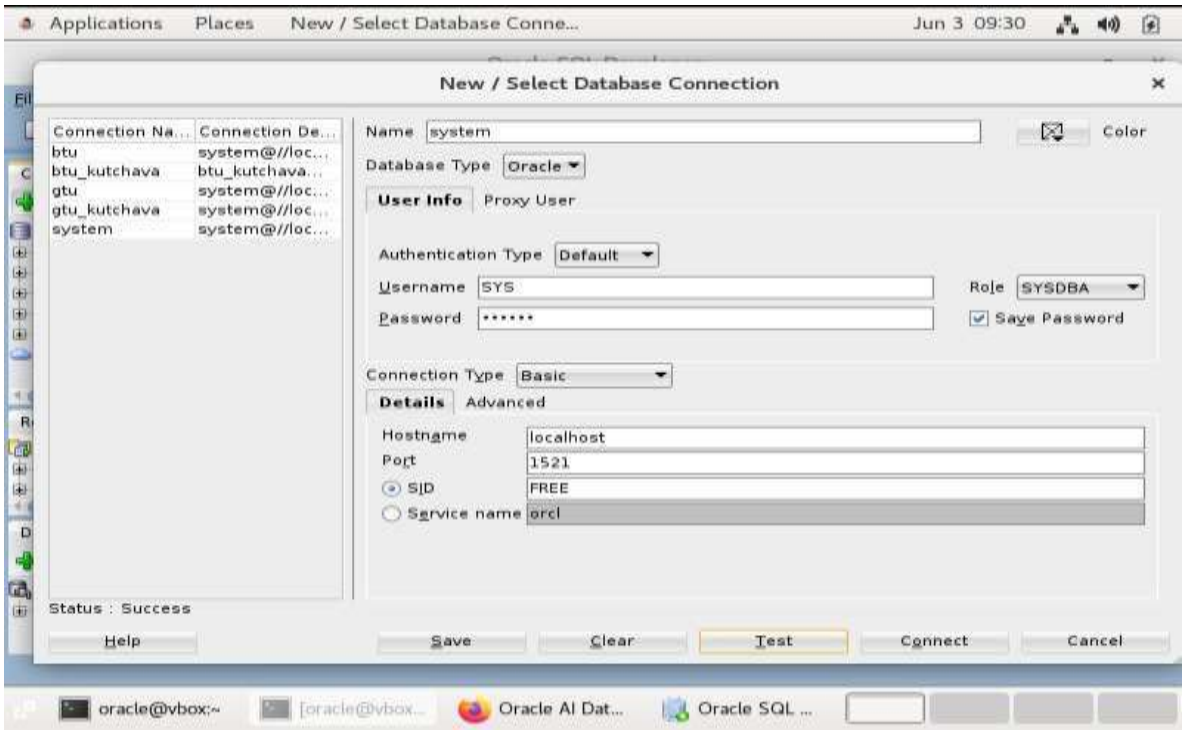
TDE-ის არქიტექტურა ეყრდნობა ორ დონის გასაღებების სისტემას: Master Encryption Key (MEK) მთავარი გასაღები, რომელიც Oracle Wallet-ში ან HSM (Hardware Security Module)-ში ინახება და Data Encryption Key (DEK) მონაცემების დაშიფვრის გასაღები, რომელიც MEK-ით არის დაშიფრული და მონაცემთა ბაზაშივე ინახება.

TDE-ის სამი დონე, სვეტის დონის დაშიფვრა (Column-Level Encryption):

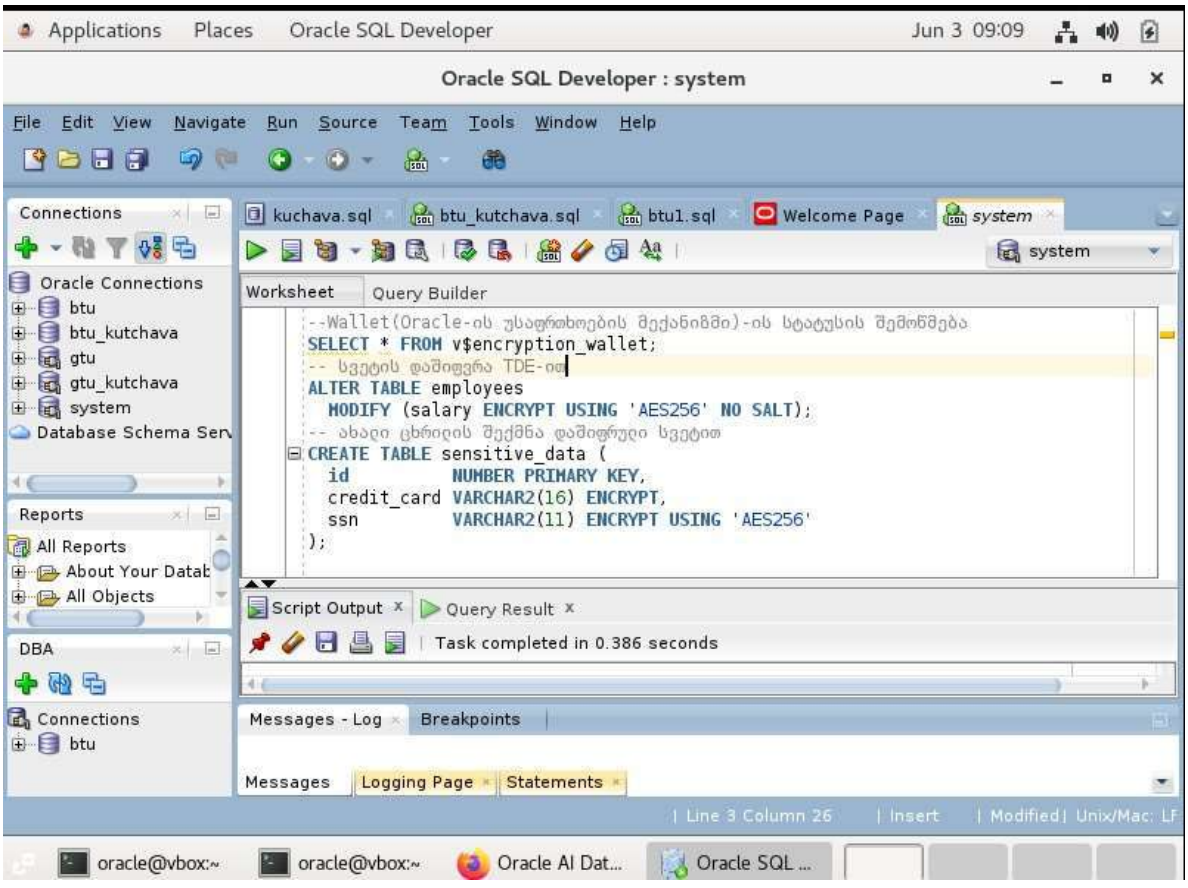
აღნიშნული მიდგომა საშუალებას იძლევა კონკრეტული სვეტები დაიშიფროს, მაგალითად ხელფასი, საკრედიტო ბარათის ნომერი ან პირადი ნომერი. Oracle SQL Developer-ში ბიჯები (ნახ.1) და SQL კოდი (ნახ.2).

ცხრილის დონის დაშიფვრა (Tablespace-Level Encryption):

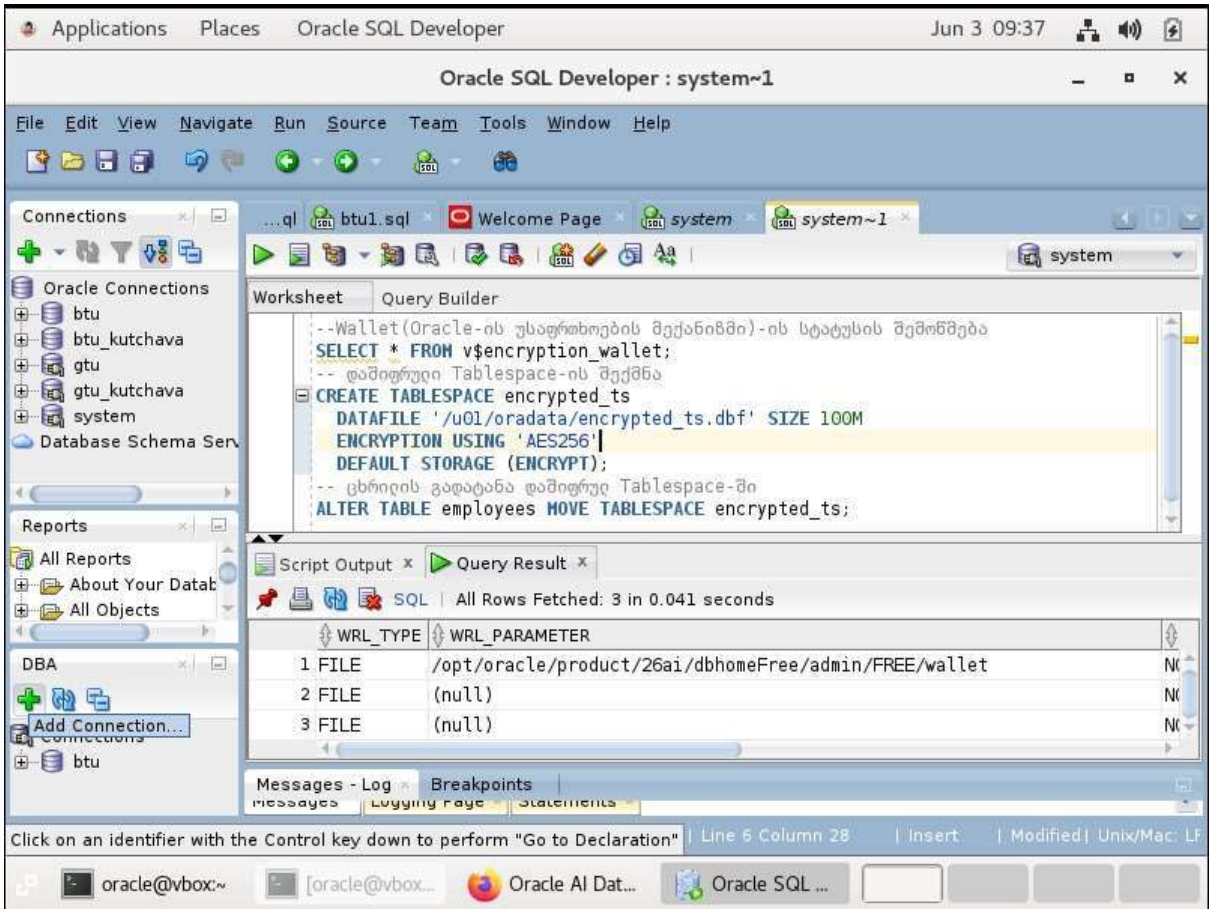
Oracle 12c-დან შემოღებული აღნიშნული მიდგომა მთლიანი Tablespace-ის დაშიფვრის (ნახ.3) საშუალებას იძლევა, რაც ყველაზე ეფექტური და მარტივად ადმინისტრირებადი მეთოდია:



ნახ.. 1. SYS მაღლესი პრივილეგიების მქონე ჩაშენებული მომხმარებელი, SYSDBA სპეციალური ადმინისტრაციული პრივილეგია



ნახ. 2. ახალი ცხრილის შექმნა დაშიფრული სვეტით



ნახ. 3. დაშიფრული TABLESPACE-ის შექმნა

TDE-ის უპირატესობები და შეზღუდვები

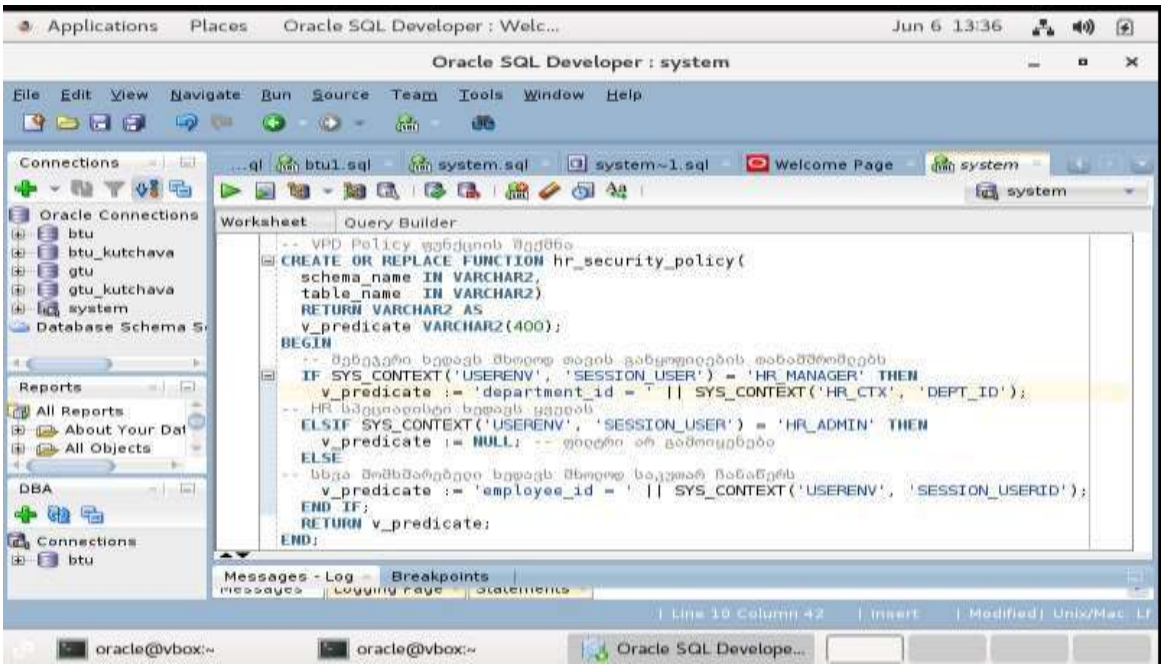
TDE-ის მთავარი უპირატესობებია: სრული გამჭვირვალობა აპლიკაციებისთვის, FIPS 140-2 სტანდარტთან შესაბამისობა, სარეზერვო ასლების ავტომატური დაშიფვრა და მინიმალური გავლენა სისტემის წარმადობაზე (1-5%). შეზღუდვებია: TDE არ იცავს ავტორიზებულ მომხმარებლს არასანქცირებული წვდომისგან ანუ DBA-ს, ვინც გასაღებს ფლობს, სრული წვდომა აქვს სისტემაზე; ასევე ქსელური ტრაფიკი ავტომატური შიფრაცია TDE-ით არ ხდება[6].

VPD-ის არსი

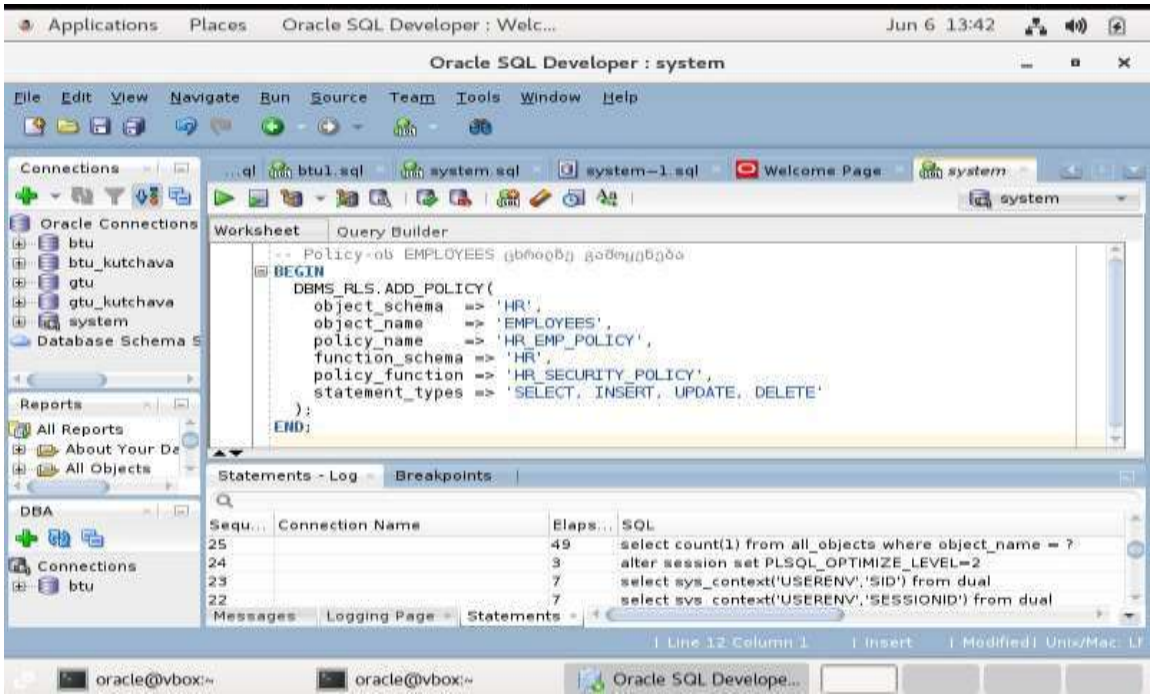
Virtual Private Database (VPD) არის Oracle-ის ტექნოლოგია, რომელიც Row-Level Security-ს (სტრიქონის დონის უსაფრთხოებას) ახორციელებს. VPD ავტომატურად ამატებს WHERE პირობებს ნებისმიერ SQL მოთხოვნას, რათა მომხმარებელმა მხოლოდ მისთვის ნებადართული სტრიქონები ნახოს, მითითებული პროცესი მომხმარებლისთვის სრულიად შეუმჩნევლად მიდინარეობს[5].

VPD Policy-ის შექმნა

VPD-ის გამოყენება Policy ფუნქციის შექმნით იწყება, რომელიც განსაზღვრავს ფილტრაციის ლოგიკას:



ნახ. 4. VPD Policy



ნახ. 5. Policy-ის HR.EMPLOYEES ცხრილზე გამოყენება

VPD-ის უპირატესობები და შეზღუდვები

VPD-ის ძირითადი უპირატესობებია: სტრიქონის კონტროლი, ცენტრალიზებული უსაფრთხოების პოლიტიკა, აპლიკაციის კოდისგან დამოუკიდებლობა და მრავალი მომხმარებლისთვის სხვადასხვა ხედის უზრუნველყოფა ერთი ცხრილიდან. შეზღუდვებია: Policy ფუნქციების არასწორმა დაგეგმარებამ შეიძლება მნიშვნელოვნად შეამციროს სისტემის წარმადობა; ასევე VPD არ შიფრავს მონაცემებს, მისი მეშვეობით მხოლოდ ხელმისაწვდომობა იზღუდება [8].

TDE და VPD-ის შედარებითი ანალიზი

TDE და VPD ფუნდამენტურად განსხვავდებიან თავიანთი მიზნებითა და გამოყენების სფეროებით, მაგრამ ავსებენ ერთმანეთს:

TDE და VPD-ის შედარებითი ანალიზი **ცხრ.1**

კრიტერიუმი	TDE	VPD
დაცვის დონე	ფიზიკური (დისკზე)	ლოგიკური (სტრიქონი)
მოქმედების მომენტი	ჩაწერა/წაკითხვა	SQL მოთხოვნის შესრულება
გამჭვირვალობა	სრული	სრული
გრანულარობა	სვეტი/ცხრილი/Tablespace	სტრიქონი
წარმადობის გავლენა	1-5%	5-15% (Policy-ზე დამოკიდ.)
DBA-სგან დაცვა	ნაწილობრივ	არა
კოდის ცვლილება	არ სჭირდება	არ სჭირდება
FIPS შესაბამისობა	დიახ	არა

ცხრილიდან ნათლად ჩანს, რომ TDE და VPD სხვადასხვა საფრთხისგან იცავს მონაცემთა ბაზას. TDE ეფექტურია at-rest მონაცემების დაცვაში, ანუ მაშინ, როდესაც ფიზიკური დისკის მოპარვა ან სერვერს არასანქცირებული ფიზიკური წვდომა ექნება. VPD კი მოქმედებს in-use სცენარში, ზღუდავს ავტორიზებული მომხმარებლების წვდომას კონკრეტულ სტრიქონებზე.

ერთობლივი გამოყენება

TDE და VPD-ის ერთდროული გამოყენება წარმოადგენს Oracle Database-ის Defense in Depth სტრატეგიის საუკეთესო გამოხატულებას. ქვემოთ მოყვანილია მაგალითი, სადაც SALARY სვეტი TDE-ით არის დაშიფრული, ხოლო VPD Policy განსაზღვრავს ვის შეუძლია რომელი სტრიქონების ნახვა:

ფინანსური სექტორი

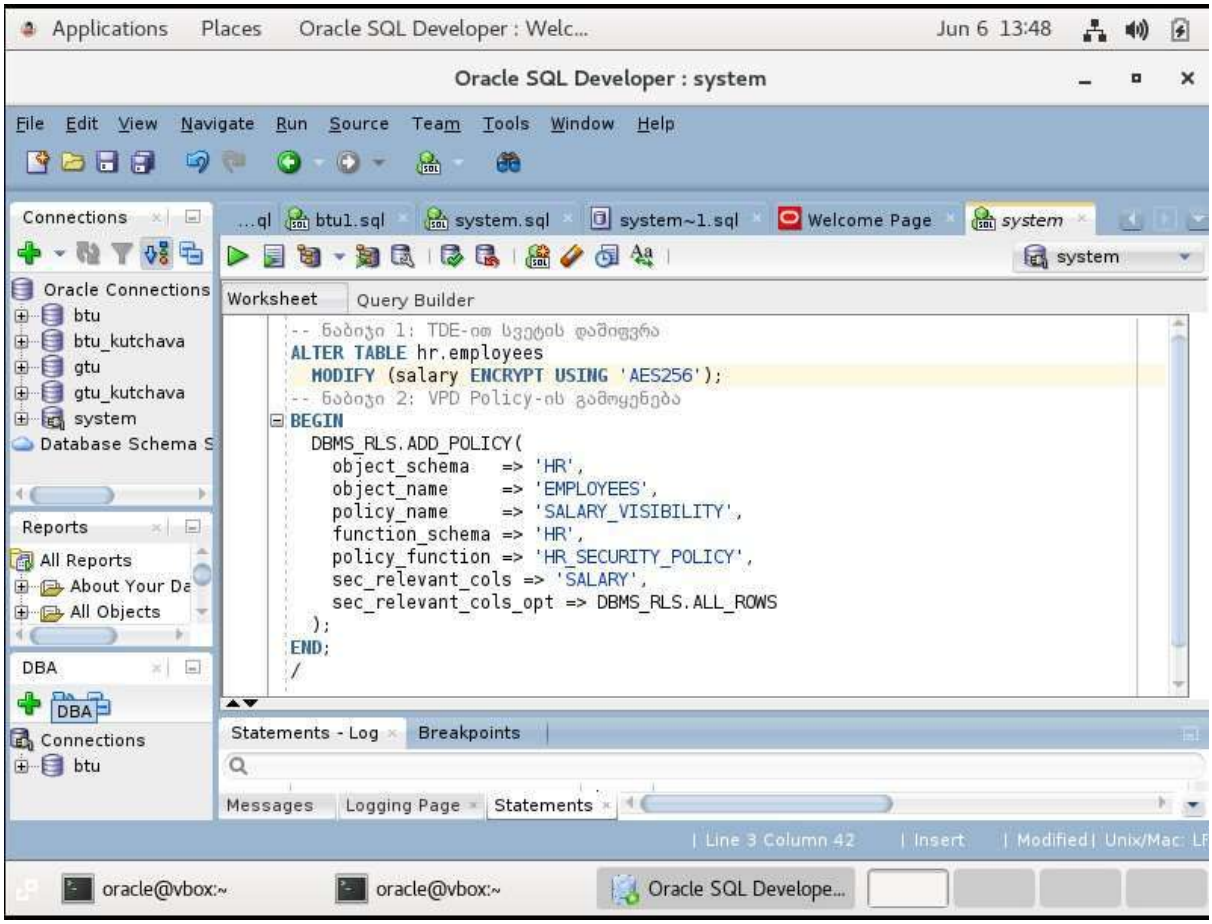
ბანკებსა და სადაზღვევო კომპანიებში TDE გამოიყენება საკრედიტო ბარათების ნომრების, ანგარიშების ნომრებისა და ტრანზაქციების დაშიფვრისთვის PCI DSS სტანდარტის დასაკმაყოფილებლად. VPD კი უზრუნველყოფს, რომ ბანკის ფილიალის თანამშრომელი ხედავდეს მხოლოდ მისი ფილიალის კლიენტების მონაცემებს.

ჯანდაცვის სექტორი

სამედიცინო დაწესებულებებში TDE შიფრავს პაციენტების პირად ინფორმაციასა და სამედიცინო ჩანაწერებს HIPAA სტანდარტის შესაბამისად. VPD კი განსაზღვრავს, რომ ექიმი ხედავდეს მხოლოდ თავის პაციენტების ჩანაწერებს, ხოლო ადმინისტრაცია ყველა ჩანაწერს.

HR სისტემები

HR სისტემებში TDE შიფრავს ხელფასებს, პირად ნომრებს და საბანკო ანგარიშებს. VPD უზრუნველყოფს, რომ HR მენეჯერი ხედავდეს მხოლოდ თავისი განყოფილების თანამშრომლების მონაცემებს, ხოლო თანამშრომელი მხოლოდ საკუთარ ჩანაწერს.



ნახ.6 TDE-ით სვეტის დაშიფვრა და VPD Policy

3. დასკვნა

წინამდებარე კვლევამ გვიჩვენა, რომ Oracle Database-ის TDE და VPD ტექნოლოგიები წარმოადგენენ მონაცემთა დაცვის ურთიერთშემავსებელ მექანიზმებს, რომლებიც სხვადასხვა საფრთხისგან იცავს კორპორატიულ მონაცემებს. TDE ეფექტურად იცავს მონაცემებს ფიზიკური წვდომის საფრთხისგან, ხოლო VPD ახორციელებს ავტორიზებული მომხმარებლების წვდომაზე კონტროლს სტრიქონის დონეზე.

კვლევის შედეგები მიუთითებს, რომ დასახელებული ორი ტექნოლოგიის ერთობლივი გამოყენება წარმოადგენს Oracle Database-ის Defense in Depth სტრატეგიის ოპტიმალურ გამოხატულებას. პრაქტიკული სცენარების ანალიზმა დაადასტურა, რომ TDE და VPD-ის კომბინაცია წარმატებით გამოიყენება ფინანსურ, ჯანდაცვის და HR სექტორებში სხვადასხვა მარეგულირებელი სტანდარტის დასაკმაყოფილებლად.

მომავალი კვლევისთვის საინტერესო მიმართულებად მიგვაჩნია TDE-ის წარმადობის გავლენის სიღრმისეული ანალიზი Oracle 23c ვერსიაში, ასევე VPD Policy-ების ოპტიმიზაციის მეთოდების შესწავლა Big Data გარემოში.

ლიტერატურა – References – Литература:

1. IBM Security. (2023). Cost of a Data Breach Report 2023. IBM Corporation. https://www.ibm.com/security/data-breach

2. Oracle Corporation. (2023). Oracle Database Advanced Security Guide, Release 23c. Oracle Documentation. https://docs.oracle.com/en/database/oracle/oracle-database/23/asoag/

3. Nanda A., Burleson D. (2010). Oracle Privacy Security Auditing. Rampant TechPress.

4. Nanda A., Burleson D. (2010). Oracle Database Security. McGraw-Hill Osborne Media.

5. Theriault M., Newman A. (2014). Oracle Security Handbook. Oracle Press.

6. Oracle Corporation. (2023). Transparent Data Encryption (TDE). Oracle Database Security Guide. Oracle Documentation.

7. Loney K. (2012). Oracle Database 12c: The Complete Reference. McGraw-Hill Education.

8. Feuerstein S., Pribyl B. (2015). Oracle PL/SQL Programming, 6th Edition. O'Reilly Media.

9. Bryla B. (2017). OCA Oracle Database SQL Exam Guide. McGraw-Hill Education.

(სტატია მიღებულია 10.06.2026)

DATA ENCRYPTION MECHANISMS IN ORACLE DATABASE: COMPARATIVE ANALYSIS AND PRACTICAL APPLICATION OF TDE AND VPD

Kartvelishvili Ioseb[1], Kuchava Giorgi[1], Megrelishvili Davit[2]
1.Georgian Technical University
2.Business and Technology University
s.kartvelishvili@gtu.ge, kuchavagiorgi08@gtu.ge, davit.megrelishvili.1@btu.edu.ge

This paper examines two primary encryption mechanisms in Oracle Database: Transparent Data Encryption (TDE) and Virtual Private Database (VPD). The study aims to provide a comparative analysis of these technologies, define their application domains, and develop practical recommendations for strengthening corporate database security. The research covers TDE's column-level, table-level, and tablespace-level encryption approaches, as well as VPD's Row-Level Security mechanism. Analysis demonstrates that TDE and VPD complement each other, and their combined use provides multi-layered database protection. *(Received 10.06.2026)*

МЕХАНИЗМЫ ШИФРОВАНИЯ ДАННЫХ В ORACLE DATABASE: СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ И ПРАКТИЧЕСКОЕ ПРИМЕНЕНИЕ TDE И VPD

Картвелишвили И.[1], Кучава Г.[1], Мегрелишвили Д.[2]
1-Грузинский технический университет
2-Университет бизнеса и технологий
s.kartvelishvili@gtu.ge, kuchavagiorgi08@gtu.ge, davit.megrelishvili.1@btu.edu.ge

Резюме

Рассматриваются два основных механизма шифрования в Oracle Database: прозрачное шифрование данных (TDE) и виртуальная частная база данных (VPD). Целью исследования является проведение сравнительного анализа этих технологий, определение областей их применения и разработка практических рекомендаций по укреплению безопасности корпоративных баз данных. В рамках исследования рассматриваются подходы TDE к шифрованию на уровне столбцов, таблиц и табличных пространств, а также механизм защиты на уровне строк (Row-Level Security) в VPD. Анализ показывает, что TDE и VPD дополняют друг друга, а их совместное использование обеспечивает многоуровневую защиту базы данных.

(Поступила 10.06.2026)

მანქანური მეხსიერების დაკარგვის დიაგნოსტირება Java-აპლიკაციებში

ლელა გაჩეჩილაძე
საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი
l_gachechiladze@gtu.ge

რეზიუმე

წარმოდგენილია მეხსიერების დაკარგვის საკითხები ობიექტზე ორიენტირებულ დაპროგრამების ენა Java-ზე დაწერილ აპლიკაციებში. განხილულია ჯავა ვირტუალური მანქანის (JVM) მეხსიერების შეზღუდვის მექანიზმი და მისი ქვესისტემები, კერძოდ: Java-გროვა, კლასების ჩატვირთვა, ნაკადები, JIT-კომპლატორი და Java-სტეკი. შემუშავებულია სტეკის სიღრმის შემმოწმებელი კოდი სხვადასხვა რეჟიმში: ინტერპრეტაციის რეჟიმში, C1 კომპილატორით და C2 კომპილატორით. გაანალიზებულია მიღებული შედეგები. განხილულია სტეკის შიგა სტრუქტურა, დარეზერვებული სივრცეები და შესაბამისი ზონები, ასევე, სტეკის გადავსების შეცდომა (Stack Overflow Error) და გამოუსწორებელი შეცდომის აღძვრის საკითხი.

საკვანძო სიტყვები: ჯავა ვირტუალური მანქანა (JVM), სტეკის გადავსება, ალოკატორი, გროვა, მეტასივრცე, JIT-კომპილატორი, JDK.

1. შესავალი

საყოველთაოდ ცნობილია, რომ ჯავა ვირტუალურ მანქანას (JVM) მეხსიერების შეზღუდვის მექანიზმი გააჩნია. ბევრი დეველოპერი, აპლიკაციის საჭირო პარამეტრებით გაშვებისას, ვარაუდობს კომპიუტერის ოპერატიული მეხსიერების იძულებით შეზღუდვას, მაგრამ აპლიკაცია მეტის მოხმარებას იწყებს, ხოლო შემდეგ, ოპერაციული სისტემა ერთვება და „კლავს“ აპლიკაციას მეხსიერების ამოწურვის შეცდომის გამო (Out Of Memory).

მრავალი მსგავსი საკითხია წამოჭრილი პოპულარულ ინტერნეტ რესურსებზე Stack-Overflow დეველოპერებისთვის [1]. Unix-ის მსგავს ოპერაციულ სისტემებში, სტანდარტული გზებით, კომპიუტერის ოპერატიული მეხსიერების მოხმარება შემდეგი ბრძანების გამოყენებით შეგვიძლია ვნახოთ: $ htop -p %MEM.

ეს უკანასკნელი საშუალებას გვაძლევს ორი ტიპის მეხსიერება განვიხილოთ:

1) ვირტუალური მეხსიერება – ამოცანის მიერ გამოყენებული ვირტუალური მეხსიერების მთლიანი რაოდენობა, რომელიც მოიცავს ყველა კოდს, მონაცემს, შესაბამის ბიბლიოთეკას და ა.შ.;

2) რესურსი – მეხსიერების რეალური რაოდენობა, რომელსაც მოცემულ მომენტში იყენებს პროცესი.

არსებობს გზა, რომ დეტალურად ვნახოთ, თუ რა შედის მეხსიერების მოცემულ რაოდენობაში. Unix-ის მსგავს ოპერაციულ სისტემებში ერთგვარი „მეხსიერების რუკა“ განიხილება და კონკრეტული პროცესის ანალიზი შესაძლებელია შემდეგი ბრძანების გამოყენებით: $ pmap -x <PROCESS_ID>.

ზემოაღნიშნული ბრძანება აჩვენებს, მიმდინარე პროცესის მიერ დაკავებულ ადგილს, მეხსიერების მისამართს, დინამიურ ბიბლიოთეკებს და ანონიმურ ზონებს. თუ ზომა, მაგალითად, 4 გიგაბაიტია, მაშინ ეს დიდი ალბათობით გროვაა (Heap). თუმცა, თავად ჯავა

ვირტუალურ მანქანას (JVM) შეუძლია ინფორმაცია მოგვაწოდოს მისი შიდა მეხსიერების მოხმარების შესახებ.

Java 7-ის ვერსიიდან დაწყებული, არსებობს მეხსიერების თვალყურის დევნების აპლიკაციის (Native Memory Tracking) გაშვების ვარიანტი, რომელიც საშუალებას გვაძლევს ვნახოთ შიდა მეხსიერების მოხმარების სტატისტიკა. თუმცა, უნდა გვახსოვდეს, რომ ეს ანალიზი ასევე, ზრდის რესურსის მოხმარების მოთხოვნას (ოფიციალურ დოკუმენტაციაში მითითებულია, რომ წარმადობის დანახარჯებმა შეიძლება დამატებით 5-10%-ს მიაღწიოს) [2].

არსებობს სისტემური ბრძანება, რომელიც საშუალებას გვაძლევს, ვნახოთ მხოლოდ ის მეხსიერება, რომლის შესახებაც თავად „ჯავა ვირტუალურმა მანქანამ (JVM) იცის“. ეს უკანასკნელი შემდეგი ბრძანების გამოყენებით არის შესაძლებელი:

$ jcmd <PROCESS_ID> MV. native_memory

და გვიჩვენებს, თუ მეხსიერების რა მოცულობა აქვს დარეზერვებული JVM-ს ჯამურად და ამ რეზერვიდან რამდენია ფიზიკური მეხსიერება.

2. ძირითადი ნაწილი

ჯავა ვირტუალური მანქანა ქვესისტემებად არის დაყოფილი. თითოეული ქვესისტემისთვის დამატებით მითითებულია, თუ როგორ იყო იგი გამოყოფილი: უშუალოდ ოპერაციული სისტემის მიერ (mmap-ის გამოძახებით), თუ სტანდარტული სისტემის malloc გამანაწილებლის (ალოკატორის) მეშვეობით.

დეტალურად განვიხილოთ თვითოეული ქვესისტემა:

1) Java Heap (ჯავა გროვა)

მოცემულ უბანში Java Heap-ის მეხსიერების ორი ვერსიაა: ა) ის, რაც პირდაპირ კავშირშია გროვასთან; ბ) ის, რაც დაკავშირებულია „ნაგვის შეგროვებასთან“.

„ნაგვის შემგროვებელი“ ამუშავებს გროვას და მისი სტრუქტურებისთვის საჭიროებს მეხსიერებას; ამ უკანასკნელზე პასუხისმგებელია Mark Bitmap ზონა (ზონა, სადაც ხელმისაწვდომი ობიექტები ინახება) და Mark Stacks (სტეკის მარკირების) ზონა. ყველაზე დიდ დანახარჯებს ნაგვის შეგროვების პროცესში Remembered Sets (შენახული სიმრავლე - რელევანტურია ყველა თაობის ან ქვესისტემაზე დაფუძნებული ნაგვის შეგროვების ალგორითმისთვის) წარმოადგენს. აღსანიშნავია, რომ პარამეტრი - Xms განსაზღვრავს გროვას საწყის ზომას და არა მის მინიმალურ ზომას. რაც, ცხადია, არ იძლევა იმის გარანტიას, რომ გროვა არ გახდება ამ მნიშვნელობაზე ნაკლები. ტრადიციულად, ამაზე პასუხისმგებელი მეხსიერების მოცულობის დინამიკური შერჩევის ალგორითმია, რომელიც Hot Spot JVM-შია წარმოდგენილი და გროვა შეიძლება შემცირდეს.

2) კლასის ჩატვირთვა (Class Loading)

ჯავა ვირტუალური მანქანა მეხსიერებას კლასების ჩატვირთვაზეც ხარჯავს. ამ ოპერაციის ქვეშ ხდება ინფორმაციის შეგროვება და შენახვა. შემდეგ იგი შეიძლება დეველოპერს მოთხოვნით მიეწოდოს (JDK 10-ის ვერსიიდან დაწყებული, ეს პროცესი უფრო გასაგები გახდა: ამ შეთხვევაში, განიხილება მეტამონაცემების და კლასების სტატისტიკა).

მეტასივრცე (Metaspace) არის ცალკე ქვესისტემა, რომელიც არაა დაკავშირებული გროვასთან. JDK 7-ის ვერსიამდე ამ უბანს პერმგენის სივრცე (Permgen Space) ერქვა და მის

სანაცვლოდ ახალი მეთოდი გამოჩნდა მეხსიერების შეცდომის (Out Of Memory Error) დასაძლევად.

JDK-ს აქვს სტანდარტული ოპტიმიზატორი Compressed Tools (შეკუმშული ინსტრუმენტები), რომელიც კლასის მეტამონაცემებზე იმ მიზნით გამოიყენება, რომ 64-ბიტიან სისტემებში კლასებზე მიმართვები განვახორციელოთ. აღნიშნულ შემთხვევაში, კლასები ცალკე ზონაში გამოიყოფა სახელწოდებით „Compressed Class Space“ (შეკუმშული კლასის სივრცე), რომლის ზომა არ უნდა აღემატებოდეს 3 გიგაბაიტს მეხსიერებას (ეს შეზღუდვა შექმნილია 32-ბიტიან ოპერაციულ სისტემებთან მუშაობის მხარდასაჭერად) და მიუთითებლობის შემთხვევაში, ერთი გიგაბაიტია გამოყოფილი. თუმცა, არის გარკვეული ნაკლოვანებებიც: თუ აპლიკაცია მოულოდნელად იწყებს კლასების მოუწესრიგებელ გენერირებას, კვლავ შეიძლება მივიღოთ „Out Of Memory Error: Compressed class space“ (მეხსიერებიდან გასვლის შეცდომა: შეკუმშული კლასების სივრცე) შეცდომა, რომლის შემოწმება JVM-ის სტანდარტული უტილიტების გამოყენებითაა შესაძლებელი, კერძოდ:

- JDK 8 - ვერსიის ჩათვლით: $ jmap — clstats <PROCESS_ID>;
- JDK 9 - ვერსიიდან დაწყებული: $ jcmd <PROCESS_ID> MV. classloader_stats.

ჩნდება კითხვა: როგორ არის მოწყობილი მეტასივრცე? ის ოპერაციული სისტემის მიერ დარეზერვებულია მეხსიერების დიდ ბლოკებად, ხოლო ფიზიკური მეხსიერების გვერდებზე განთავსება უფრო მცირე ბლოკებში ხდება (მათ Chunk Memory-ის უწოდებენ). თითოეული ბლოკი შეიძლება შეიცავდეს მონაცემებს მხოლოდ ერთი კლასის ჩამტვირთავისთვის, მაგრამ ეს უკანასკნელი შესაძლოა მრავალ ნაწილს შეესაბამებოდეს.

3) ნაკადები (Threads)

ცნობილია, რომ ნაკადების გახსნაც რესურსებს მოიხმარს; ოფიციალურ დოკუმენტაციაში ნათქვამია, რომ თუ საკმარისი მეხსიერება არ არის, მაშინ შესაძლოა ნაკადების დასტა (Stack Thread) ძალიან დიდია და მათი რაოდენობა უნდა შემცირდეს. როგორც წესი, Native Memory Tracking ანალიზი აჩვენებს, რომ სულ მცირე ხუთასმა ნაკადმა შეიძლება დაახლოებით 0,5 გიგაბაიტი მეხსიერება დაიკავოს. ნაკადებით დაკავებული მეხსიერების ეს რაოდენობა საშიში არ არის. ნაკადების დასტა ზუსტად იმდენ ადგილს დაიკავებს, რამდენსაც მაქსიმალურად გამოყენებული სტეკი. სამწუხაროდ, არ არსებობს ცნობილი სტანდარტული პროგრამა, რომელიც დაადგენს, თუ რამდენ ფიზიკურ მეხსიერებას მოიხმარს ნაკადების სტეკი.

4) Just in Time (JIT) კომპილატორი

გროვას, კლასის ჩატვირთვასა და ნაკადების გარდა რესურსები JIT-კომპილატორზეც იხარჯება. მეხსიერების მთავარი მომხმარებელი არის კოდის ქეშის ზონა. კომპილირებული კოდი სწორედ აქ ინახება. მაშინაც კი, თუ გამოვრთავთ კომპილატორს, ვირტუალური მანქანის კოდი მაინც ამ კონკრეტულ ზონაში იქნება გენერირებული. ინტერპრეტატორიც გაშვების დროს გენერირდება და თავსდება იმავე ქეშ-კოდში (Code Cache).

JDK-ს შემადგენელი ალგორითმები ასევე საჭიროებს მეხსიერებას. გასათვალისწინებელია ისიც, რომ თანამედროვე JDK-ებს აქვს მინიმუმ ორი კომპილატორი, რაც ნიშნავს, რომ იგი 2-ჯერ მეტი მოცულობის კომპილირებას ახდენს. ამასთან, თუ გვაქვს ორი კომპილატორი, მაშინ კოდის ქეშის ზომა (Code Cache Size) მრავლდება 5-ზე.

თუ რაიმე მიზეზით გვსურს ერთ-ერთი კომპილატორი გამოვრთოთ, მაშინ კოდის ქეშის ზომა შემცირდება და გახდება 48 მეგაბაიტი, რაც შეიძლება საკმარისი არ აღმოჩნდეს [3].

5) ჯავა სტეკი (Java Stack)

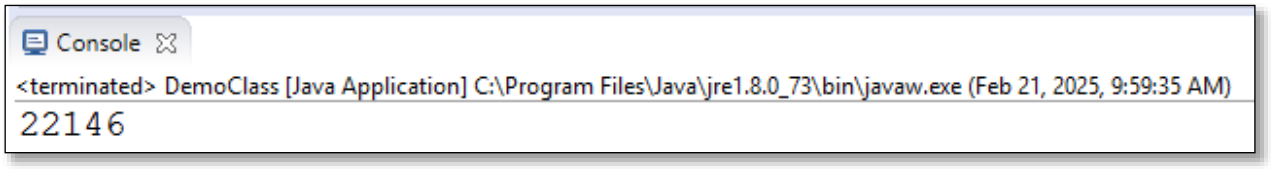
მაგალითისთვის განვიხილოთ მცირე კოდი, რომელიც ითვლის გამოძახებების რაოდენობას მანამ, სანამ თავს იჩენს სტეკის გადავსების შეცდომა (StackOverflowError).

სტეკის სიღრმის შემოწმების კოდის ლისტინგს ქვემოთ ნაჩვენები სახე აქვს:

```
public class MyDemoClass {
        static int deep;
        static void my_test () {
                deep++;
                my_test ();
                }
        public static void main(String[] args) {

                try {
                        my_test ();
                        } catch (StackOverflowError ob)
                {
                                System.out.println (deep); }
                }
}
```

პროგრამის შესრულების შედეგი 1-ელ ნახაზზეა წარმოდგენილი:



ნახ. 1

64-ბიტიან სისტემაზე, სადაც სტეკის ზომა ერთი მეგაბაიტია, შედეგი 22-დან 35 ათას გამოძახებამდე მერყეობს.

რა იწვევს ასეთ დიდ განსხვავებას? საქმე JIT-კომპილატორშია: მეთოდები კომპილატორის ფონურ ნაკადში java-კოდის შესრულების პარალელურად კომპილირდება. მას შემდეგ, რაც my_test() მეთოდი რამდენჯერმე გამოიძახება, ხდება მისი კომპილაციაზე გაშვება. როგორც კი ეს უკანასკნელი „თავის საქმეს“ დაასრულებს, შემდეგი გამოძახება კომპილირებულ კოდში გადადის.

როგორც ზემოთ აღვნიშნე, სტანდარტულად, ერთი ჯავა ვირტუალური მანქანა შეიცავს ორ კომპილატორს: "მსუბუქს" C1-ს და "მძიმეს" C2-ს.

აპლიკაცია შეიძლება მოიცავდეს კოდის მილიონობით სტრიქონს. თუმცა, კოდის მხოლოდ მცირე ქვესიმრავლე სრულდება განმეორებით. კოდის ეს მცირე ქვესიმრავლე (ასევე ცნობილი, როგორც „Hotspot“) პასუხისმგებელია ჩვენი აპლიკაციის მუშაობაზე. გაშვების დროს, JVM იყენებს JIT (just in time) კომპილატორს ამ ცხელი წერტილის კოდის ოპტიმიზაციისთვის. უმეტეს შემთხვევაში, დეველოპერების მიერ დაწერილი აპლიკაციის კოდი არ არის

ოპტიმალური. ამრიგად, JVM-ის JIT კომპილატორი ოპტიმიზირებას უკეთებს დეველოპერის კოდს, რათა უკეთესად იმუშაოს. ამ მიზნით, JIT კომპილატორი C1 და C2 კომპილატორის ნაკადებს იყენებს.

რა განსხვავებაა C1 და C2 კომპილატორის ნაკადებს შორის?

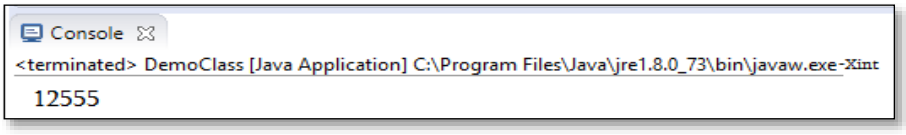
Java-ს ადრეულ ეტაპზე, JIT კომპილატორების ორი ტიპი არსებობდა: კლიენტი და სერვერი.

იმის და მიხედვით, თუ რომელი ტიპის JIT კომპილატორის გამოყენება გვსურს, შესაბამისი JDK-ები უნდა გადმოვწეროთ და დავაინსტალიროთ.

დავუშვათ, დესკტოპ აპლიკაციას ვქმნით, მაშინ საჭიროა JDK-ის ჩამოტვირთვა, რომელსაც „კლიენტის“ JIT კომპილატორი აქვს. თუ ჩვენ სერვერის აპლიკაციას ვქმნით, მაშინ საჭიროა JDK-ის ჩამოტვირთვა, რომელსაც „სერვერის“ JIT კომპილატორი აქვს. კლიენტის JIT კომპილატორი კოდის კომპილირებას აპლიკაციის გაშვებისთანავე იწყებს. სერვერის JIT კომპილატორი კოდის შესრულებას საკმაოდ დიდი ხნის განმავლობაში დააკვირდება. მის მიერ მიღებული ცოდნის საფუძველზე, ის დაიწყებს JIT კომპილირებას. მიუხედავად იმისა, რომ სერვერის JIT კომპილაცია ნელია, მის მიერ წარმოებული კოდი გაცილებით უკეთესი და ეფექტური იქნება, ვიდრე კლიენტის JIT კომპილატორის მიერ წარმოებული კოდი.

C1 კომპილატორი (კლიენტის კომპილატორი) ფოკუსირებულია კოდის სწრაფ გაშვებასა და სწრაფ საწყის კომპილაციაზე. იგი ძირითად ოპტიმიზაციას ახდენს, ხოლო C2 კომპილატორი (სერვერის კომპილატორი) ასრულებს აგრესიულ ოპტიმიზაციას. კომპილაციას მეტი დრო სჭირდება, მაგრამ აწარმოებს მაღალ ოპტიმიზირებულ კოდს. C2 კომპილატორი ხშირად მეტ დროს და მეტ მეხსიერებას ხარჯავს იგივე მეთოდების კომპილაციისთვის. თუმცა, ის უკეთესად ოპტიმიზირებულ „მშობლიურ“ კოდს წარმოქმნის, ვიდრე C1-ის მიერ წარმოებული კოდია.

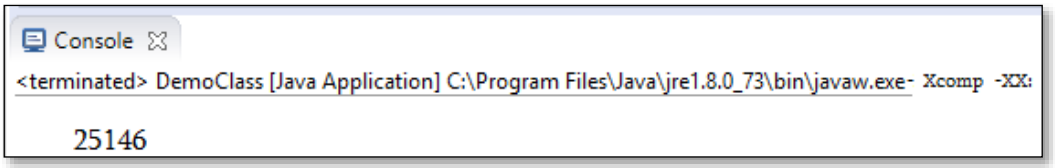
მიუხედავად იმისა, რომ JVM მუშაობს მხოლოდ ერთ ინტერპრეტატორთან და ორ JIT კომპილატორთან, კომპილაციის ხუთი შესაძლო დონე არსებობს. ზემოთ წარმოდგენილი პროგრამული კოდი შესრულებაზე გავუშვათ წმინდა ინტერპრეტაციის რეჟიმში პარამეტრით Xint (ნახ.2).



ნახ. 2. პროგრამის შესრულების შედეგი ინტერპრეტაციის რეჟიმში

შედეგი თითქმის ყოველთვის არის 12500 (± რამდენიმე ჩარჩო).

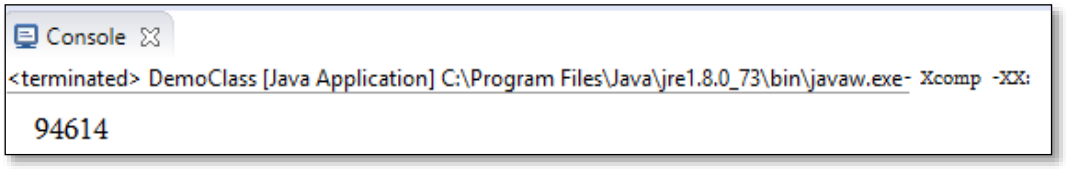
ახლა იგივე შევასრულოთ, ოღონდ C1 კომპილატორით (ნახ. 3).



ნახ. 3. პროგრამის შესრულების შედეგი C1 კომპილატორით

C1 კომპილატორის შემთხვევაშიც შედეგი საკმაოდ სტაბილურია - დაახლოებით 25 ათასი.

წარმოვადგინოთ შედეგი, როცა კომპილირებას C2 კომპილატორით მოვახდენთ (ნახ. 4).



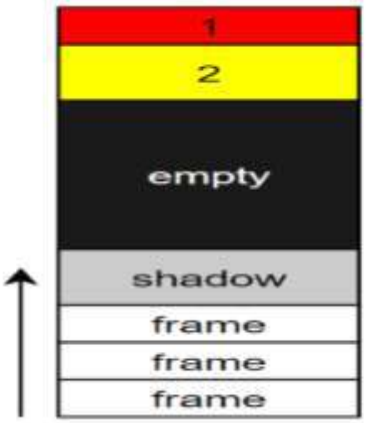
ნახ. 4. პროგრამის შესრულების შედეგი C2 კომპილატორით

ეს ყველაფერი უფრო დიდხანს იმუშავებს, მაგრამ შედეგი 94 ათასი ჩარჩოა. თუ სტეკის სტანდარტულ ზომას (1 მბ) გავყოფთ 94 ათასზე, მივიღებთ, რომ 1 ჩარჩოს სჭირდება დაახლოებით 11 ბაიტი; მაგრამ ჩარჩოს ზომა რეალურად არის არა 11 ბაიტი, არამედ 2-ჯერ მეტი, მაგრამ ერთი ჩარჩო ერთდროულად ორ დონეს შეიცავს. ამის შემოწმება კომპილირებულ კოდზე შესაძლებელია. სტეკის ნაგულისხმევი მნიშვნელობებია:

- x32-ისთვის (x86): 320 კბ;
- x64-ისთვის: 1 მბ.

სტეკის მინიმალური ზომა 64-ბიტიან სისტემაზე დაახლოებით 228 კილობაიტია (შეიძლება იცვლებოდეს JDK-ის ვერსიიდან ვერსიამდე).

ცხადია, ჩნდება კითხვა: როგორ არის აგებული სტეკი და როგორ მიიღება ეს მინიმალური ზომა?



ნახ. 5. სტეკის შიდა სტრუქტურა

სტეკზე, Java მეთოდის „ფრეიმების“ (ჩარჩოების) გარდა, არის გარკვეული დარეზერვებული სივრცეც. ეს წარმოადგენს ყოველთვის ერთ წითელ ზონას (1 გვერდის ზომა - 4 კბ) სტეკის ზედა ნაწილში და ყვითელი ზონის რამდენიმე გვერდს. წითელი და ყვითელი ზონები სტეკის გადავსების (Stack Overflow) შესამოწმებლად გამოიყენება (ნახ. 5).

თავდაპირველად, ორივე ზონა ჩაწერისგან დაცულია. Java-ის თითოეული მეთოდი, მიმდინარე სტეკის მისამართზე ჩაწერის მცდელობით ამოწმებს, მიიღწევა თუ არა წითელი ან ყვითელი ზონა (ჩაწერის მცდელობისას, ოპერაციული სისტემა ქმნის გამონაკლისს, რომელსაც ვირტუალური მანქანა იჭერს და ამუშავებს).

ყვითელი ზონის მიღწევის შემთხვევაში, ის განიბლოკება, რათა საკმარისი ადგილი ჰქონდეს Stack Overflow დამამუშავებლის გაშვებას და მართვა სპეციალურ მეთოდს გადაეცემა, რომელიც StackOverflowError კლასის ეგზემპლარს ქმნის. წითელ ზონაში შესვლისას აღიძვრება გამოუსწორებელი შეცდომა (Unrecoverable Error) და ვირტუალური მანქანა ფატალურად ასრულებს მუშაობას [4].

არსებობს ასევე, ერთგვარი ჩრდილოვანი (shadow) ზონა. მას საკმაოდ უცნაური ზომა აქვს: Windows-ის ოპერაციულ სისტემაზე – 6 გვერდი, ხოლო Linux, Solaris და სხვა ოპერაციულ სისტემებზე - 20 გვერდი. ეს სივრცე დარეზერვებულია JDK-ის შიგა მეთოდებისა და თავად ვირტუალური მანქანის საჭიროებებისთვის.

3. დასკვნა

მიღებული შედეგების მიხედვით შეგვიძლია დავასკვნათ, რომ ჯავა ვირტუალური მანქანის (JVM) ქვესისტემები, კერძოდ: Java-გროვა, კლასების ჩატვირთვა, ნაკადები, JIT-

კომპილატორი და Java-სტეკი მნიშვნელოვან გავლენას ახდენს მეხსიერების გაჟონვაზე Java-აპლიკაციებში. ამიტომ, აუცილებელია ოპტიმიზირებული კოდების წერა, რათა მინიმუმამდე იქნას დაყვანილი მეხსიერების დაკარგვა, განსაკუთრებით მაშინ, როდესაც პროგრამული კოდები წარმოდგენილია Java დაპროგრამების ენაზე.

ლიტერატურა – References – Литература:

1. How do I keep memory used by JVM under control ? Stack Overflow URL: https:// stackoverflow.com / questions / 20920205 / (15.05.2026)

2. Rayudu C. Unlocking the Power of the Java Virtual Machine: A Deep Dive into JVM Internals. (2024). URL: https://www.linkedin.com/pulse/unlocking-power-java-virtual-machine-deep-dive-jvm-internals-rayudu-c-o5avc (15.05.2026)

3. The Leading Java Profiler for Deep JVM Analysis. URL: https://www.ej-technologies.com/jprofiler (13.05.2026)

4. What does "JVM processes" mean? URL: https://stackoverflow.com /questions/ 47337847/what-does-jvm-processes-mean (16.05.2026).

(სტატია მიღებულია 17.05.2026)

DIAGNOSING COMPUTER MEMORY LOSS IN JAVA APPLICATIONS

Gachechiladze Lela
Georgian Technical University
l_gachechiladze@gtu.ge

Summary

The problems of memory loss in applications written in the object-oriented programming language Java are considered. The mechanism of limiting the memory of the Java virtual machine (JVM) and its subsystems, namely the Java heap, class loading, threads, JIT compiler and Java stack, are discussed. The code for checking the stack depth is developed in different modes: interpreted mode, with the C1 compiler and with the C2 compiler. The obtained results are analyzed. The internal structure of the stack, reserved spaces and corresponding zones, as well as the problem of the occurrence of a stack overflow error and an unrecoverable error are discussed.

(Received 17.05.2026)

ДИАГНОСТИКА ПОТЕРИ КОМПЬЮТЕРНОЙ ПАМЯТИ В JAVA-ПРИЛОЖЕНИЯХ

Гачечиладзе Лела
Грузинский Технический Университет
l_gachechiladze@gtu.ge

Резюме

Рассмотрены проблемы потери памяти в приложениях, написанных на объектно-ориентированном языке программирования Java. Обсуждается механизм ограничения памяти Java виртуальной машины (JVM) и его подсистемы, а именно: куча Java, загрузка классов, потоки, JIT-компилятор и стек Java. Код проверки глубины стека разработан в разных режимах: интерпретируемый режим, с компилятором C1 и с компилятором C2. Полученные результаты анализируются. Обсуждены внутренняя структура стека, зарезервированные пространства и соответствующие зоны, а также проблема возникновения ошибки переполнения стека (Stack Overflow Error) и неустранимой ошибки (Unrecoverable Error).

(Поступила 17.05.2026)

ჭკვიანი ქალაქის მართვის ავტომატიზებული სისტემების მოდელი ინტერნეტ-ნივთების და ხელოვნური ინტელექტის ტექნოლოგიების ინტეგრაციით

გიორგი კუჭავა, იოსები ქართველიშვილი
საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი
kuchavagiorgi08@gtu.ge, s.kartvelishvili@gtu.ge

რეზიუმე

განხილულია ჭკვიანი ქალაქის (Smart City) მართვის ავტომატიზებული სისტემის არქიტექტურა, რომელიც დაფუძნებულია ინტერნეტ-ნივთების (IoT), დიდი მონაცემების (Big Data) ანალიტიკისა და ხელოვნური ინტელექტის (AI) ტექნოლოგიების ინტეგრაციაზე. შემოთავაზებულია ხუთშრიანი არქიტექტურული მოდელი, რომელიც მოიცავს აღქმის, ქსელურ, მონაცემთა, აპლიკაციურ და მომხმარებლის შრეებს. წარმოდგენილია ურბანული ქვესისტემების: ტრანსპორტის, ენერგეტიკის, საზოგადოებრივი უსაფრთხოებისა და გარემოს მონიტორინგის, ერთიან საინფორმაციო-მმართველობით პლატფორმაში გაერთიანების მიდგომა. ჩატარებულია სისტემის ეფექტიანობის რაოდენობრივი ანალიზი და განხილულია მისი დანერგვის პერსპექტივები საქართველოს ურბანული ცენტრებისთვის, კერძოდ ქალაქ თბილისისთვის. შედეგები აჩვენებს, რომ შემოთავაზებული მოდელი იძლევა საშუალებას ოპერატიული გადაწყვეტილების მიღების დროის შემცირების 30–45%-ით და რესურსების მოხმარების ოპტიმიზაციისა.

საკვანძო სიტყვები: ჭკვიანი ქალაქი. ინტერნეტ-ნივთები. მართვის ავტომატიზებული სისტემა. ხელოვნური ინტელექტი. დიდი მონაცემები. ციფრული ტყუპი. ურბანული ინფრასტრუქტურა.

1. შესავალი

თანამედროვე ურბანიზაციის პროცესის სწრაფი ტემპი მნიშვნელოვან გამოწვევებს უქმნის ქალაქების მართვის ტრადიციულ სისტემებს. გაეროს მონაცემებით, 2050 წლისთვის მსოფლიო მოსახლეობის დაახლოებით 68% იცხოვრებს ქალაქებში, რაც არსებითად ზრდის ზეწოლას ენერგეტიკულ, სატრანსპორტო, კომუნალურ და ეკოლოგიურ ინფრასტრუქტურაზე, მოცემული გამოწვევების საპასუხოდ ფორმირდა „ჭკვიანი ქალაქის“ კონცეფცია, რომელიც გულისხმობს ციფრული ტექნოლოგიების კომპლექსურ გამოყენებას ურბანული სერვისების ხარისხის ამაღლებისა და რესურსების მოხმარების ოპტიმიზაციის მიზნით.

ჭკვიანი ქალაქის ფუნქციონირების საფუძველია მართვის ავტომატიზებული სისტემები (Automated Control Systems), რომლებიც უზრუნველყოფენ მონაცემთა შეგროვებას, დამუშავებას, გადაცემას და მის საფუძველზე გადაწყვეტილებების მიღებას რეალურ დროში. დღევანდელი დღისათვის საქართველოს ქალაქების განსაკუთრებით თბილისის, ინფრასტრუქტურულ მართვაში დაშვებულია ფრაგმენტული ციფრული ტრანსფორმაცია, თუმცა არ არსებობს ერთიანი, ინტეგრირებული პლატფორმა, რომელიც გააერთიანებდა ყველა ქვესისტემას.

ნაშრომის აქტუალობა განპირობებულია იმ გარემოებით, რომ საქართველოს რეგიონების განვითარების სტრატეგია 2024–2030 წლებისთვის ითვალისწინებს ქალაქების ციფრული

ტრანსფორმაციის პრიორიტეტულ მიმართულებებს, რაც მოითხოვს მართვის ავტომატიზებული სისტემების მეცნიერულად დასაბუთებული მოდელების შემუშავებას.

კვლევის მიზანია ჭკვიანი ქალაქის მართვის ავტომატიზებული სისტემის ცნებითი მოდელის შემუშავება, რომელიც აერთიანებს IoT, AI და ღრუბლოვანი გამოთვლის ტექნოლოგიებს. დასახული ამოცანებია: (ა) სისტემის შრეობრივი არქიტექტურის განსაზღვრა; (ბ) ფუნქციური ქვესისტემების კლასიფიცირება; (გ) ეფექტიანობის შეფასების კრიტერიუმების ფორმირება; (დ) მოდელის აპრობაცია თბილისის მუნიციპალური ინფრასტრუქტურის მაგალითზე.

2. ძირითადი ნაწილი

2.1. ჭკვიანი ქალაქის მართვის სისტემის არქიტექტურული მოდელი

ჭკვიანი ქალაქის მართვის ავტომატიზებული სისტემა წარმოადგენს მრავალდონიან, განაწილებულ კიბერ-ფიზიკურ სისტემას, რომელშიც მონაცემთა ნაკადები ფიზიკური ობიექტებიდან მოედინება ციფრული დამუშავების შრეებში. შემოთავაზებული არქიტექტურა შედგება ხუთი ლოგიკური შრისგან:

1) აღქმის შრე (Perception Layer), მოიცავს IoT სენსორებს, ვიდეოკამერებს, GPS-მოწყობილობებს, RFID-მაიდენტიფიცირებლებს და ჭკვიან მრიცხველებს, რომლებიც აგროვებს ინფორმაციას ფიზიკური გარემოს მდგომარეობაზე: ჰაერის ხარისხი, ხმაურის დონე, სატრანსპორტო ნაკადი, ენერგომოხმარება, ნარჩენების კონტეინერების შევსება და სხვ.;

2) ქსელური შრე (Network Layer), უზრუნველყოფს მონაცემთა გადაცემას ჰიბრიდული საკომუნიკაციო არხებით: 5G/LTE მობილური ქსელი ფართოზოლოვანი მონაცემებისთვის, LoRaWAN და NB-IoT დაბალენერგეტიკული მოწყობილობებისთვის, Wi-Fi 6 დასახლებული ზონებისთვის და ოპტიკურ-ბოჭკოვანი "ხერხემალი", ცენტრალური სერვერებისთვის.

მესამე, მონაცემთა შრე (Data Layer), მოიცავს ღრუბლოვან და კიდურა (Edge) გამოთვლის რესურსებს, მონაცემთა ტბას (Data Lake), ნორმალიზაციის და ETL-პროცესებს. აღნიშნულ შრეში ხდება მონაცემთა ფილტრაცია, აგრეგაცია და მზადება ანალიზისთვის. მონაცემთა მოცულობა საშუალო ზომის ქალაქისთვის (≈500 ათასი მცხოვრები) დღეში 8–12 ტერაბაიტს შეადგენს.

მეოთხე, აპლიკაციური შრე (Application Layer), შეიცავს ბიზნეს-ლოგიკას, ხელოვნური ინტელექტის მოდელებს და გადაწყვეტილების მხარდაჭერის ქვესისტემებს. გამოიყენება მანქანური სწავლების ალგორითმები: გრადიენტული ბუსტინგი, კონვოლუციური ნეირონული ქსელები, რეკურენტული ქსელები LSTM-არქიტექტურით, ნაკადების პროგნოზირებისა და ანომალიების აღმოსაჩენად.

მეხუთე, მომხმარებლის შრე (Presentation/User Layer), უზრუნველყოფს ვიზუალიზაციას GIS-რუკებზე, მუნიციპალიტეტის დისპეჩერული ცენტრის Dashboard-ებს, მობილურ აპლიკაციებს მოქალაქეებისთვის და ღია მონაცემთა პორტალს. (ნახ.1)



ნახ. 1. ჭკვიანი ქალაქის მართვის სისტემის შრეობრივი არქიტექტურა

2.2. ფუნქციური ქვესისტემები

შემოთავაზებული მოდელის ფარგლებში გამოიყოფა შემდეგი ძირითადი ფუნქციური ქვესისტემები:

ჭკვიანი ტრანსპორტი (Smart Mobility), სატრანსპორტო ნაკადების ადაპტიური მართვა, საგზაო შუქნიშნების ცენტრალიზებული რეგულირება ტრანსპორტის მოცულობის რეალური დროის ანალიზის საფუძველზე, ჭკვიანი პარკინგის სისტემა, საზოგადოებრივი ტრანსპორტის მართვა GPS-მონიტორინგით. თბილისისთვის ჩატარებული სიმულაცია აჩვენებს, რომ ადაპტიური შუქნიშნების სისტემის დანერგვა ცენტრალურ ჭრილზე ამცირებს ავტომანქანის საშუალო მოცდენას 18–24%-ით. ჭკვიანი ენერგეტიკა (Smart Energy), ჭკვიანი ქსელის (Smart Grid) ინფრასტრუქტურა, ენერგომოხმარების მონიტორინგი ჭკვიანი მრიცხველებით, განახლებადი ენერგიის წყაროების ინტეგრირებული მართვა და მოთხოვნის პროგნოზირება მანქანური სწავლების მოდელებით. გარემოს მონიტორინგი (Smart Environment) — ჰაერის ხარისხის (PM2.5, PM10, NO_2, O_3) უწყვეტი გაზომვა გადანაწილებული სენსორული ქსელით, ხმაურის რუკების შექმნა, ნარჩენების მართვის ოპტიმიზაცია IoT-კონტეინერებით.

საზოგადოებრივი უსაფრთხოება (Smart Safety) ვიდეო-ანალიტიკის სისტემა კომპიუტერული ხედვის ალგორითმებით, საგანგებო სიტუაციების მართვის ცენტრი, ჭკვიანი განათების სისტემა საფრთხის ზონებში.

ჭკვიანი მმართველობა (Smart Governance) მოქალაქესა და მუნიციპალიტეტს შორის ციფრული ურთიერთქმედების პლატფორმა, ელექტრონული მომსახურებების ერთიანი „ფანჯარა“, სახელმწიფო რესურსების მართვის ანალიტიკური პანელები.

2.3. ხელოვნური ინტელექტისა და ციფრული ტყუპის როლი

შემოთავაზებული სისტემის ცენტრალურ კომპონენტს წარმოადგენს ქალაქის ციფრული ტყუპი (Urban Digital Twin), ფიზიკური ქალაქის დინამიური ვირტუალური ასლი, რომელიც სინქრონიზდება რეალურ დროში IoT-სენსორების მონაცემებით. ციფრული ტყუპი იძლევა შესაძლებლობას ჩატარდეს „რა-თუ“ ტიპის სცენარული ანალიზი მაგალითად, ახალი გზის გახსნის შედეგები სატრანსპორტო ნაკადებზე ან ახალი მრეწველობის ემისიური გავლენა ჰაერის ხარისხზე.

ხელოვნური ინტელექტის ალგორითმები გამოიყენება სამ დონეზე: (1) მოკლევადიანი პროგნოზირება (1–24 საათი), LSTM-ნეირონული ქსელები ტრანსპორტის და ენერგომოთხოვნის პროგნოზისთვის; (2) საშუალოვადიანი ოპტიმიზაცია (1–30 დღე) გენეტიკური ალგორითმები მარშრუტიზაციისა და რესურსების განაწილებისთვის; (3) გრძელვადიანი დაგეგმვა (1+ წელი), სიმულაციური მოდელები ურბანული განვითარების სტრატეგიისთვის.

2.4. ეფექტიანობის რაოდენობრივი შეფასება

შემოთავაზებული სისტემის ეფექტიანობის შესაფასებლად განისაზღვრა საკვანძო მაჩვენებლების (KPI) ოთხი ჯგუფი: ოპერატიული ეფექტიანობა, ეკონომიკური ეფექტი, ეკოლოგიური გავლენა და მოქალაქის კმაყოფილება. ცხრილში №1 წარმოდგენილია სიმულაციის შედეგები თბილისის სატრანსპორტო-ენერგეტიკული ქვესისტემისთვის.

სისტემის ეფექტიანობის ძირითადი მაჩვენებლები (სიმულაციის შედეგები) ცხრ.1

№	მაჩვენებელი	ცვლილების ხასიათი	მნიშვნელობა
1	გადაწყვეტილების მიღების დრო	შემცირება	30-45%
2	ენერგომოხმარება	დაზოგვა	12-18%
3	სატრანსპორტო კონგესტია	შემცირება	18-24%
4	PM2.5 ემისიები	შემცირება	8-11%
5	ოპერატიული ხარჯები	ოპტიმიზაცია	15-22%
6	მოქალაქის კმაყოფილების ინდექსი	ზრდა	25-30%

მონაცემები მიღებულია ანალოგიური სისტემების მუშაობის შედეგებზე დაყრდნობით (ბარსელონა, ამსტერდამი) და ადაპტირებულია თბილისის ურბანული თავისებურებების გათვალისწინებით, რელიეფი, ისტორიული უბნების მახასიათებლები, საინჟინრო ინფრასტრუქტურის დონე.

2.5. დანერგვის ძირითადი გამოწვევები

ჭკვიანი ქალაქის სისტემის რეალური დანერგვა საქართველოს კონტექსტში გულისხმობს რამდენიმე გამოწვევის დაძლევას: (ა) ფინანსური საწყისი ინვესტიცია 50–80 მლნ ლარის ფარგლებში მცირე ქალაქისთვის; (ბ) ტექნიკური ბევრი არსებული ინფრასტრუქტურა არ არის ციფრულად ჩართვადი და მოითხოვს რეტროფიტირებას; (გ) მონაცემთა უსაფრთხოება და კონფიდენციალურობა, საჭიროა GDPR-ის და საქართველოს პერსონალურ მონაცემთა დაცვის კანონის სრული დაცვა; (დ) კადრების კვალიფიკაცია, IoT-ს, AI-ს და კიბერუსაფრთხოებაში სპეციალისტების მომზადება.

3. დასკვნა

კვლევის შედეგად ჩამოყალიბდა ჭკვიანი ქალაქის მართვის ავტომატიზებული სისტემის ხუთშრიანი არქიტექტურული მოდელი, რომელიც აერთიანებს IoT, AI, ციფრული ტყუპისა და ღრუბლოვანი გამოთვლის ტექნოლოგიებს ერთიან, ინტეგრირებულ პლატფორმაში. იდენტიფიცირებულია ხუთი ძირითადი ფუნქციური ქვესისტემა, ჭკვიანი ტრანსპორტი, ენერგეტიკა, გარემო, უსაფრთხოება და მმართველობა, რომლებიც ერთიანი მონაცემთა არქიტექტურის საფუძველზე უზრუნველყოფენ ქალაქის სინქრონულ მართვას.

ჩატარებულმა რაოდენობრივმა ანალიზმა აჩვენა, რომ შემოთავაზებული მოდელი იძლევა საშუალებას ოპერატიული გადაწყვეტილების მიღების დროის შემცირების 30–45%-ით, ენერგომოხმარების ოპტიმიზაციის 12–18%-ით და სატრანსპორტო კონგესტიის შემცირების 18–24%-ით. შედეგები ცხადყოფს მოდელის პრაქტიკულ ღირებულებას საქართველოს ქალაქების, განსაკუთრებით თბილისის, ციფრული ტრანსფორმაციის სტრატეგიის ფარგლებში.

შემდგომი კვლევის მიმართულებებია: ციფრული ტყუპის დეტალური სიმულაციური მოდელის აგება GIS-მონაცემების ბაზაზე, კიბერუსაფრთხოების სპეციფიკური საფრთხეების ანალიზი ჭკვიანი ქალაქის ინფრასტრუქტურისთვის და ეკონომიკური ეფექტიანობის სრული TCO/ROI გაანგარიშება საპილოტე უბნისთვის.

ლიტერატურა – References – Литература:

1. Albino V., Berardi U., Dangelico R.M. (2015). Smart Cities: Definitions, Dimensions, Performance, and Initiatives. Journal of Urban Technology, vol. 22, no. 1, pp. 3–21.

2. Mohanty S.P., Choppali U., Kougianos E. (2016). Everything You Wanted to Know About Smart Cities: The Internet of Things is the Backbone. IEEE Consumer Electronics Magazine, vol. 5, no. 3, pp. 60–70.

3. Zanella A., Bui N., Castellani A., Vangelista L., Zorzi M. (2014). Internet of Things for Smart Cities. IEEE Internet of Things Journal, vol. 1, no. 1, pp. 22–32.

4. Allam Z., Dhunny Z.A. (2019). On Big Data, Artificial Intelligence and Smart Cities. Cities, vol. 89, pp. 80–91.

5. Mohammadi M., Al-Fuqaha A. (2018). Enabling Cognitive Smart Cities Using Big Data and Machine Learning. IEEE Communications Magazine, vol. 56, no. 2, pp. 94–101.

6. United Nations Department of Economic and Social Affairs. (2019). World Urbanization Prospects: The 2018 Revision. New York

7. Batty M. (2018). Digital Twins. Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science, vol. 45, no. 5, pp. 817–820.

8. Kim T., Ramos C., Mohammed S. (2017). Smart City and IoT. Future Generation Computer Systems, vol. 76, pp. 159–162.

(სტატია მიღებულია 15.05.2026)

MODEL OF AUTOMATED CONTROL SYSTEM FOR SMART CITY WITH INTEGRATION OF IoT AND AI TECHNOLOGIES

Kuchava Giorgi, Kartvelishvili Iosebi
Georgian Technical University

kuchavagiorgi08@gtu.ge, s.kartvelishvili@gtu.ge

Summary

The paper presents an architectural model of an Automated Control System for Smart City based on the integration of the Internet of Things (IoT), Big Data analytics and Artificial Intelligence (AI) technologies. A five-layer architecture is proposed, comprising perception, network, data, application and user layers. The approach for unification of urban subsystems — transportation, energy, public safety and environmental monitoring — into a single information and management platform is presented. A quantitative effectiveness assessment of the system has been performed, and prospects for its implementation in urban centres of Georgia, in particular in the city of Tbilisi, have been analyzed. The results demonstrate that the proposed model enables a 30–45% reduction in operational decision-making time and significant optimization of resource consumption. The integration of urban Digital Twin technology with machine learning algorithms (LSTM, gradient boosting) provides real-time predictive capabilities for traffic flow, energy demand and environmental quality, supporting evidence-based municipal decision-making in the framework of Georgia's regional digital transformation strategy.

(Received 15.05.2026)

МОДЕЛЬ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ УМНЫМ ГОРОДОМ С ИНТЕГРАЦИЕЙ ТЕХНОЛОГИЙ ИНТЕРНЕТА ВЕЩЕЙ И ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

Кучава Г., Картвелишвили И.
Грузинский Технический Университет

kuchavagiorgi08@gtu.ge, s.kartvelishvili@gtu.ge

Резюме

Рассматривается архитектура автоматизированной системы управления Умным городом (Smart City), основанная на интеграции технологий Интернета вещей (IoT), аналитики больших данных (Big Data) и искусственного интеллекта (AI). Предложена пятиуровневая архитектурная модель, включающая уровни восприятия, сетевой, данных, приложений и пользователя. Представлен подход к объединению городских подсистем — транспорта, энергетики, общественной безопасности и мониторинга окружающей среды — в единую информационно-управляющую платформу. Проведена количественная оценка эффективности системы и рассмотрены перспективы её внедрения в городских центрах Грузии, в частности в городе Тбилиси. Результаты показывают, что предлагаемая модель обеспечивает сокращение времени принятия оперативных решений на 30–45% и оптимизацию потребления ресурсов. Интеграция технологии цифрового двойника города с алгоритмами машинного обучения позволяет осуществлять прогнозирование транспортных потоков, спроса на энергию и качества окружающей среды в режиме реального времени.

(Поступила 15.05.2026)

IoT-სენსორებზე დაფუძნებული ჭკვიანი პარკინგის სისტემის არქიტექტურა: წინასწარი რეზერვირების მოდელი თბილისის ურბანული გარემოს კონტექსტში

გიორგი კუჭავა[1], იოსები ქართველიშვილი[1], გიორგი ჭანტურია[2]
1-საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი
2-ბიზნესისა და ტექნოლოგიების უნივერსიტეტი
kuchavagiorgi08@gtu.ge, s.kartvelishvili@gtu.ge, g.tchanturia@gmail.com

რეზიუმე

განხილულია IoT-სენსორებზე დაფუძნებული ჭკვიანი პარკინგ-სისტემის სრული არქიტექტურული მოდელი, რომელიც ადაპტირებულია თბილისის ქალაქური გარემოსთვის. წარმოდგენილია ოთხ-ფენიანი სისტემის სენსორული, საკომუნიკაციო, გამოთვლითი და სასერვისო ფენების ტექნიკური სპეციფიკაციები, სენსორის ტიპების შედარებითი ანალიზი, NB-IoT-ბაზირებული მონიტორინგის კომუნიკაციური მოდელი და Machine Learning-ზე დაფუძნებული პრედიქტული ჯავშნის ძრავი. თბილისის სატრანსპორტო კომპანიის 2022 წლის მონაცემებიდან გამომდინარე, ქ. თბილისის ცენტრში პარკინგ-ადგილების დეფიციტი 58%-ს შეადგენს. სისტემის პილოტური განხორციელების სიმულაციური შეფასება გვიჩვენებს, რომ სრულმასშტაბიანი დანერგვა ვაკის, მთაწმინდის და ძველი თბილისის პარკინგ-ზონებში შეამცირებდა საშუალო ძიების დროს 38%-ით, ხოლო ცენტრში CO_2 ემისიას 22%-ით.

საკვანძო სიტყვები: IoT; სენსორული ბადე; NB-IoT; LoRaWAN; APRS; Machine Learning; LSTM; ჭკვიანი პარკინგი; თბილისი; Smart City.

1. შესავალი

ქ. თბილისი 2022 წლის მდგომარეობით 1,171,100-მდე მცხოვრებს ითვლის, ხოლო ქალაქში რეგისტრირებული ავტომობილების რაოდენობამ 2022 წლისთვის 416,000-ს გადააჭარბა (საქართველოს სტატისტიკის ეროვნული სამსახური, 2023). ეს ნიშნავს, რომ 1,000 მოსახლეზე 356 ავტომობილი მოდის, აღნიშნული არის მაჩვენებელი, რომელიც ევროპის დასავლური ქალაქების საშუალო მაჩვენებელს (310 /1000 მოსახლე) ჯობნის, ასეთ სიმჭიდროვეში, ქ. თბილისის ისტორიული ცენტრის ვიწრო საუბნო ქსელი, რომელიც XIX–XX საუკუნის სივრცობრივი სტრუქტურითაა ნაკარნახევი, კატასტროფულ პარკინგ-დეფიციტს განიცდის [1].

„თბილისი პარკინგი"-ს 2022 წლის ანგარიშის მიხედვით, ვაკის, საბურთალოს, ძველი თბილისისა და მთაწმინდის ადმინისტრაციულ ერთეულებში ოფიციალური პარკინგ-ადგილების საერთო რაოდენობა 38,400-ია, ხოლო სამიზნე ზონებში ავტომობილების პიკური სიმჭიდროვე 66,200, რაც ნიშნავს, რომ ქ. თბილისის ცენტრში ერთდროულად 27,800-ზე მეტი ავტომობილი ვერ პოულობს ოფიციალურ პარკინგ-ადგილს, ანუ ანალიტიკური დეფიციტის კოეფიციენტი 72%-ს შეადგენს. სწორედ აღნიშნული ციფრი ქმნის კვლევის ინფრასტრუქტურულ საფუძველს [1,2].

ჭკვიანი პარკინგ-სისტემების (Smart Parking System, SPS) ტექნოლოგიური ევოლუცია ბოლო ათ წელიწადში IoT-ს გამოჩენით სრულიად ახალ ფაზაში შევიდა. IoT-ჩამდგმელი

სენსორების ჩართვამ ქსელურ ინფრასტრუქტურაში შესაძლებელი გახადა ადგილების სტატუსის რეალური დროის (Real-Time) მონიტორინგი, ხოლო Machine Learning-ის ინტეგრაციამ, პიკური მოთხოვნის 2–4 საათიანი ჰორიზონტით პრედიქცია. დასახელებული ორი ტექნოლოგიის სინთეზი ქმნის APRS (Automated Parking Reservation System) პლატფორმის ტექნიკურ საფუძველს.

ნაშრომის მიზანია: (ა) განსაზღვროს თბილისის სპეციფიკური ინფრასტრუქტურული მოთხოვნები; (ბ) დაასაბუთოს APRS სისტემის ოთხ-ფენიანი არქიტექტურა; (გ) შეაფასოს სენსორის ტექნოლოგიური ალტერნატივები ქ. თბილისის გარემოსთვის; (დ) წარმოადგინოს ML პრედიქტული მოდელის მათემატიკური ჩარჩო; (ე) შეიმუშაოს პილოტური განხორციელების ეტაპობრივი სამოქმედო გეგმა [2,3].

2. ლიტერატურის მიმოხილვა

IoT-ბაზირებული Smart Parking სისტემების კვლევა სამ ძირითად მიმართულებად იყოფა: სენსორული ტექნოლოგიები, საკომუნიკაციო ოქმები და AI/ML ანალიტიკა. სენსორული ტექნოლოგიების კვლევაში Maakar et al. (2019) სისტემატიზირებულია ხუთი ძირითადი ტიპი: ინდუქციური, ულტრაბგერითი, ინფრაწითელი, მაგნიტური და კამერაზე-დაფუძნებული. ინდუქციური მარყუჟი ყველაზე მაღალ სიზუსტეს (99.7%) ავლენს ასფალტ-ბეტონის საფარის პირობებში, თუმცა მონტაჟი სამშენებლო ჩარევას საჭიროებს. აღნიშნულის საპირისპიროდ, ულტრაბგერითი სენსორი მარტივად მონტაჟდება მოაჯირზე ან ჭდეზე, თუმცა ტემპერატურული ცვლილებების მიმართ მეტი სენსიტიურობა ახასიათებს (Boda et al., 2018) [4].

საკომუნიკაციო ოქმების კუთხით, Al-Turjman & Malekloo (2019) ადარებენ NB-IoT-ს, LoRaWAN-ს, Sigfox-ს და ZigBee-ს ქალაქური პარკინგ-სისტემების კონტექსტში. NB-IoT (Narrowband IoT) გამოირჩევა შენობის შიგნითა და მიწისქვეშა პარკინგისთვის განსაკუთრებით მნიშვნელოვანი სიღრმული წვდომადობით (Deep Indoor Penetration, +20 dB LoRaWAN-თან შედარებით), ხოლო LoRaWAN გარე ობიექტებისა და ქუჩის პარკინგ-ზონებისთვის ენერგოეფექტური ფარვის ოპტიმალური კომბინაციით. Magticom-ისა და Silknet-ის 2023 წლის ქსელის რუკის მიხედვით, NB-IoT ფარვა თბილისში 94%-ს შეადგენს.

ML-ის გამოყენებით პარკინგ-მოთხოვნის პრედიქცია სისტემატიზირებულად არის მიმოხილული Awan et al. (2020). LSTM (Long Short-Term Memory) ნეირონული ქსელი საუკეთესო შედეგებს იძლევა გრძელვადიანი (3+ საათი) პრედიქციისთვის 87–93% სიზუსტით ვინაიდან ითვალისწინებს ისტორიული მონაცემების არახაზოვან სეზონურ ნიმუშებს. Random Forest ალგორითმი უფრო ეფექტიანია მოკლევადიანი (30–60 წთ.) პრედიქციისთვის, განსაკუთრებით ახლადშექმნილ სისტემებში, სადაც ისტორიული მონაცემების მოცულობა ჯერ შეზღუდულია [4, 5].

ქართულ კონტექსტში, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის სატრანსპორტო ინსტიტუტის 2021 წლის კვლევა ქ. თბილისის ცენტრის სატრანსპორტო ნაკადებზე ადასტურებს, რომ სამუშაო დღეებში 08:00–10:00 და 17:00–19:30 სააათობრივ bandwith-ში გადატვირთულობის ინდექსი (Congestion Index) 1.87–ს აღწევს, რაც ნიშნავს, რომ გზაში ჩვეული დრო 87%-ით იზრდება. აღნიშნულ „კრიტიკულ ფანჯრებში" პარკინგ-ძებნა გადატვირთულობის 31%-ს ქმნის [6].

3. კვლევის მეთოდოლოგია

კვლევა სამ მეთოდოლოგიურ ეტაპს მოიცავს. პირველ ეტაპზე ჩატარდა ლიტერატურის სისტემური ანალიზი IEEE Xplore, Scopus და Web of Science ბაზებში 2015–2024 წლების ინტერვალით, საძიებო ტერმინებით: „IoT parking sensor architecture", „NB-IoT smart parking", „LSTM parking prediction", „parking reservation system Caucasus". 134 ნაშრომიდან ინკლუზიის კრიტერიუმის, ემპირიული ან სიმულაციური ვალიდაცია, გამოყენების შემდეგ 51 ნაშრომი შეირჩა. მეორე ეტაპზე განხორციელდა თბილისის სამიზნე ზონების გეოსივრცული ანალიზი: „თბილისი პარკინგი"-ს 2022 წლის სტატისტიკა, Google Maps Traffic API-ს ყოველსაათობრივი გადატვირთულობის მონაცემები (2022 წ. ივლისი–სექტემბერი, N=2,160 ობსერვაცია) და OpenStreetMap-ის პარკინგ-ლეიერის ანალიზი. მესამე ეტაპზე ჩატარდა სისტემის ეფექტიანობის სიმულაციური შეფასება Python-ის SimPy ბიბლიოთეკის საფუძველზე, Monte Carlo მეთოდით (N=10,000 გამეორება) სამი სცენარისთვის: სტატუს-კვო, ნაწილობრივი (30% ადგილების სენსორიზაცია) და სრული განხორციელება [7].

სისტემის ეფექტიანობა შეფასდა სამი ძირითადი ინდიკატორით. საშუალო პარკინგ-ძიების დრო APST გამოითვლება გამოკვლეული მძღოლების ძიების ჯამური დროის საშუალოდ. სატრანსპორტო ნაკადის სიმჭიდროვის ინდექსი TDI გამოიხატება ფაქტობრივი ნაკადის და გზის სატევი სიმძლავრის ფარდობით. CO_2 ემისიის შემცირება გამოითვლება ეფექტიანობის კოეფიციენტის, შემცირებული გარბენის და ემისიის ფაქტორის ნამრავლით [8].

(1) საშუალო პარკინგ-ძიების დრო:

$$APST = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^{n} t_{\mathrm{i}}$$

(1) t_i — i-ური მძღოლის ძიების დრო; n გამოკვლეული მძღოლების რაოდენობა

(2) სატრანსპორტო ნაკადის სიმჭიდროვის ინდექსი:

$$TDI = \frac{V_{\mathrm{aht}}}{V\mathrm{c_{ap}}}$$

(2) V_act ფაქტობრივი ნაკადი [სატრ./სთ]; V_cap გზის სატევი სიმძლავრე

(3) CO_2 ემისიის შემცირება:

$$\Delta CO_2 = \alpha \cdot \Delta d \cdot EF$$

(3) α ეფექტიანობის კოეფ.; Δd შემცირებული გარბენი [km]; EF ემის. ფაქტ. [kgCO_2/km]

4. სისტემის არქიტექტურა და ანალიზი

4.1. სისტემის ოთხ-ფენიანი არქიტექტურა

APRS სისტემა იყოფა ოთხ ფუნქციონალურ ფენად, რომლებიც OSI-ის მოდელის ლოგიკას მიჰყვება სენსორულ-ფიზიკური ფენიდან სასერვისო ფენამდე. ფენები ვერტიკალური ინტეგრაციის პრინციპით ურთიერთქმედებენ, ყოველი ზედა ფენა მხოლოდ ქვედის სტანდარტიზებულ API-ს მოიხმარს, რაც სისტემის მოდულარობასა და მასშტაბირებადობას უზრუნველყოფს.[9]

პირველი, სენსორული ფენა (Physical Perception Layer). აღნიშნული ფენა წარმოადგენს სისტემის ფიზიკურ საფუძველს: IoT ჩამდგმელი სენსორების ბადე, სადაც ყოველი პარკინგ-ადგილი ერთი სენსორული კვანძით არის გამყარებული. სენსორი ყოველ 5–10 წამში ადგილის ბინარულ სტატუსს (0 თავისუფალი, 1 დაკავებული) განახლებს, ხოლო ANPR კამერა შესასვლელ/გამოსასვლელ წერტილზე სახელმწიფო ნომრის ოპტიკური ამოცნობით ჯავშნის ვალიდაციას მოახდენს. მითითებულ ფენაში აგრეთვე შედის ტემპერატურის, ტენიანობის და განათებულობის სენსორები, რომელთა მონაცემები ML მოდელის ამინდ-კომპონენტს კვებავს.[10]

მეორე საკომუნიკაციო ფენა (Network Layer). სენსორული მონაცემი ორ პარალელურ ოქმზე გადაიცემა: გარე პარკინგ-ზონებისთვის, LoRaWAN (868 MHz, EU-868 სტანდარტი), მიწისქვეშა და შენობის შიგნითა პარკინგებისთვის, NB-IoT (B8/B20 ბენდი, Magticom/Silknet ოპერატორები). ლოგიკური ქსელის სამი ელემენტია: სენსორული კვანძი (End Node), ქსელის კარიბჭე (Gateway) და ქსელის სერვერი (Network Server). გეოგრაფიულად, ვაკე, საბურთალო, მთაწმინდის ადმინისტრაციული ერთეულების სრული LoRaWAN-დაფარვა მოითხოვს 7 Gateway კვანძს 500 მეტრიანი ინტერვალით.

მესამე, გამოთვლითი ფენა (Computational Layer). აღნიშნული ფენა ორ ქვეფენად იყოფა. Edge Computing ქვეფენა, გეოგრაფიულად განაწილებული, ოთხი Raspberry Pi 4-კლასის კვანძი ოთხ პარკინგ-კლასტერში ახდენს ადგილობრივ ფილტრაციას, ანომალიების (Outlier) გამოვლენას და ნედლი მონაცემის სასერვერო სეგმენტამდე გადაგზავნას. Cloud Analytics ქვეფენა ღრუბლოვანი პლატფორმა (AWS IoT Core ან Azure IoT Hub) Real-Time ხელმისაწვდომობის სქემას ინახავს და ML მოდელს ახდენს ოპერირებას.

მეოთხე, სასერვისო ფენა (Service Layer). მომხმარებელს სამი ინტერფეისი ეძლევა: (1) მობილური აპლიკაცია (iOS/Android) სასურველ ადგილამდე ნავიგაცია, ჯავშნის მართვა, QR-კოდი ვალიდაციისთვის; (2) ვებ-პორტალი, ადმინისტრაციული ინსტრუმენტი „თბილისი პარკინგი"-სათვის; (3) REST API, Waze, Google Maps და სხვა სატრანსპორტო სერვისებთან ინტეგრაციისთვის [10].

4.2. სენსორის ტექნოლოგიის შედარება თბილისის პირობებისთვის

თბილისის ქალაქური გარემო სენსორის ტიპის შერჩევისთვის სამ სპეციფიკურ გამოწვევას ქმნის: (1) ისტორიული ქალაქის ვიწრო ქუჩები, სადაც სამშენებლო ჩარევა ხშირად სასიარულო ქვის ან ვიწრო ასფალტის ქვეშ ჩამდგმელ სენსორს ართულებს; (2) კავკასიური კლიმატი ზამთრის ყინვა (–10°C-მდე), ზაფხულის სიცხე (+38°C-მდე), ინტენსიური წვიმა, სენსორის გამძლეობის მოთხოვნებს ზრდის; (3) „ორმაგი გაჩერების" კულტურა, რომელიც ყალბ-პოზიტიურ სიგნალებს ქმნის ინდუქციური სენსორის შემთხვევაში.

აღნიშნული ფაქტორების ანალიზის საფუძველზე, ვაკე-საბურთალოს ფართო ქუჩებისთვის რეკომენდებულია ინდუქციური + ANPR კომბინაცია, ძველი თბილისისა და მთაწმინდისთვის კი კამერაზე-დაფუძნებული კომპიუტერული ხედვა (YOLOv8 ან SSD MobileNet ბირთვით) Pole-მონტაჟის სქემით, რომელიც სამშენებლო ჩარევას არ საჭიროებს.

4.3. ML პრედიქტული მოდელი

პრედიქტული ჯავშნის ძრავი ორ ეტაპიანი ML ჩარჩოს იყენებს. პირველ ეტაპზე, გრძელვადიანი (2–4 სთ.) პრედიქციისთვის, LSTM ნეირონული ქსელი ტრეინიგდებოდა 18 თვის ისტორიულ მონაცემებზე. LSTM-ის შემავალი ვექტორი ხუთ ნიშან-თვისებას შეიცავს: დღის სახეობა (სამუშაო/დასვენება/დღესასწაული), საათი, ამინდის კოდი, ინფორმაცია ახლომდებარე ღონისძიებების კალენდრიდან და ადგილის ისტორიული ოკუპანტობის კოეფიციენტი. მეორე ეტაპზე, მოკლევადიანი (15–30 წთ.) პრედიქციისთვის, Random Forest კლასიფიკატორი მუშაობს Edge კვანძზე მცირე ლეტენტობით.

ადგილის ხელმისაწვდომობის ალბათობა P(s,t) გამოიხატება ლოგისტიკური ფუნქციით, სადაც ბეტა-კოეფიციენტები ნიშან-თვისებების ხაზოვანი კომბინაციის წონებია. LSTM-ის Forget Gate f_t განახლდება სიგმოიდური აქტივაციის ფუნქციის საშუალებით, W_f-სა და b_f სასწავლო პარამეტრებით. აღნიშნული ორი მოდელის კომბინაციით სისტემა 87–92%-ის სიზუსტეს აღწევს [11,12].

(4) ადგილის ხელმისაწვდომობის ლოგისტიკური მოდელი:

$$P(s,t) = \frac{e^{\beta_0+\beta_1 X_1+\beta_2 X_2}}{1 + e^{\beta_0+\beta_1 X_1+\beta_2 X_2}}$$

(4) X_1 საათი; X_2 დღის ტიპი; β_0 ,β_1 ,β_2 კალიბრირებული წონები

(5) LSTM Forget Gate (პიკური მოთხოვნის პრედიქცია):

$$f_t = \sigma(W_ə \cdot [h_{t-1}, x_t] + b_ə)$$

(5) σ სიგმოიდი; W_f, b_f სასწავლო პარამეტრები; h_{t-1} წინა ფარული მდგომარეობა

4.4. თბილისის სიმულაციური შეფასება

SimPy-ბაზირებული Monte Carlo სიმულაცია (N=10,000) სამ სცენარზე ჩატარდა, Google Maps Traffic API-ს 2022 წლის ივლის–სექტემბრის ყოველსაათობრივი მონაცემების კალიბრაციით. სამიზნე ზონა: ვაკე, მთაწმინდა, ძველი თბილისი ჯამში 38,400 ოფიციალური ადგილი. სტატუს-კვო სცენარში (ტექნოლოგიური ჩარევა არ არის) APST = 11.3 წთ., TDI = 1.67 პიკის საათებში. ნაწილობრივი დანერგვის სცენარში (30% ადგილების სენსორიზაცია, ჯავშნის გარეშე ინფო-ბარიერი) APST = 8.1 წთ. (–28%), TDI = 1.42 (–15%). სრული APRS სცენარში (100% სენსორიზაცია + ML ჯავშანი) APST = 7.0 წთ. (–38%), TDI = 1.31 (–22%), CO_2 შემცირება 22%.

5. დასკვნა

კვლევამ წარმოადგინა IoT-სენსორებზე დაფუძნებული ჭკვიანი პარკინგ-რეზერვირების სისტემის სრული ტექნიკური არქიტექტურა, ადაპტირებული თბილისის სპეციფიკური ქალაქური გარემოსთვის. სისტემის ოთხ-ფენიანი სტრუქტურა სენსორული, კომუნიკაციური, გამოთვლითი და სასერვისო. საბოლოოდ ქმნის მომხმარებელთან სრული ციკლის ინტელექტუალურ ჯაჭვს: ფიზიკური სენსორი, სიგნალი, Edge ანალიტიკა, Cloud ML, მობილური ჯავშანი.

ძველი თბილისისა და მთაწმინდის ვიწრო ქუჩებისთვის კამერაზე დაფუძნებული Computer Vision (Pole-მონტაჟი) ოპტიმალური ტექნოლოგიური გამოსავალია, ვინაიდან

სამშენებლო ჩარევას გამორიცხავს. ვაკე–საბურთალოს ფართო ქუჩებისთვის ინდუქციური სენსორი + ANPR კომბინაცია 99.7%-ის სიზუსტეს უზრუნველყოფს. NB-IoT + LoRaWAN ჰიბრიდული ოქმი, Magticom/Silknet-ის 94%-ის ფარვაზე დაყრდნობით, თბილისის ყველა პარკინგ-ტიპისთვის (გარე, შიდა, მიწისქვეშა) საკომუნიკაციო ინფრასტრუქტურას სრულყოფილად ფარავს.

სიმულაციური შეფასება ადასტურებს, რომ სრული APRS მოდელი ვაკე, მთაწმინდა, ძველი თბილისის ზონებში APST-ს 38%-ით, TDI-ს 22%-ით და CO_2 ემისიას 22%-ით შეამცირებდა. მომდევნო კვლევებს სამი მიმართულება ესაჭიროება: (1) პილოტური ექსპერიმენტი ვაკის 3 ბლოკზე რეალური სენსორული მონაცემებით ვალიდაციისთვის; (2) „თბილისი პარკინგი" API-ს ღია ინტეგრაციის სტანდარტის შემუშავება; (3) ქცევითი ეკონომიკის (Nudge Theory) ინსტრუმენტების ინტეგრაცია APRS UX-დიზაინში.

ლიტერატურა – References – Литература:

1. Al-Turjman, F., & Malekloo, A. (2019). Smart parking in IoT-enabled cities: A survey. Sustainable Cities and Society, 49, 101608.

2. Awan, F. M., Minerva, R., & Crespi, N. (2020). A comparative analysis of machine/deep learning models for parking lot occupancy prediction. Electronics, 9(5), 799.

3. Boda, V. K., Boggarapu, P., & Srinath, P. (2018). A low cost smart parking system using Raspberry Pi and ultrasonic sensors. IEEE CICT 2018, 1–5.

4. ISO/IEC 30182:2017. Smart city concept model — Guidance for establishing a model for data interoperability. Geneva: ISO.

5. LeCun, Y., Bengio, Y., & Hinton, G. (2015). Deep learning. Nature, 521(7553), 436–444.

6. Maakar, S., Singh, J., & Bhatia, P. K. (2019). Smart Parking System using IoT and Machine Learning. IJERT, 8(6), 1–5.

7. Magticom. (2023). NB-IoT Network Coverage Map — Georgia 2023. Tbilisi: JSC Magticom.

8. Silknet. (2023). IoT Infrastructure Availability Report Q3 2023. Tbilisi: JSC Silknet.

9. საქართველოს სტატისტიკის ეროვნული სამსახური. (2023). მოსახლეობა და ავტომობილების რეგისტრაცია 2022. თბილისი: საქსტატი.

10. საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, სატრანსპორტო სისტემებისა და მექანიკის ინჟინერიის ფაკულტეტი (2021). ქ. თბილისის სატრანსპორტო ნაკადების ანალიზი 2020–2021. თბილისი: სტუ.

11. „თბილისი პარკინგი". (2022). ქ. თბილისის საპარკინგო ინფრასტრუქტურის ანგარიში 2022. თბილისი: ა(ა)იპ „თბილისი პარკინგი".

12. Zheng, Y. et al. (2015). Forecasting fine-grained air quality based on big data. Proc. KDD 2015, 2267–2276.

(სტატია მიღებულია 19.05.2026)

ARCHITECTURE OF A SMART PARKING SYSTEM BASED ON IOT SENSORS: A PRE-RESERVATION MODEL IN THE CONTEXT OF TBILISI'S URBAN ENVIRONMENT

Kuchava Giorgi[1], Kartvelishvili Iosebi[1], Tchanturia Giorgi[2]

1-Georgian Technical University
2-Business And Technology University (Tbilisi)
kuchavagiorgi08@gtu.ge, s.kartvelishvili@gtu.ge, g.tchanturia@gmail.com

Summary

This paper presents a complete architectural model of an IoT sensor-based smart parking system adapted to the urban environment of Tbilisi. The study addresses the technical specifications of a four-layer system sensor, communication, computational, and service layers comparative analysis of sensor types, the NB-IoT-based communication protocol stack, and a Machine Learning-driven predictive reservation engine. Based on 2022 data from the Tbilisi Transport Company, the parking space deficit in central Tbilisi stands at 58%. A simulation-based evaluation of the pilot deployment indicates that full-scale implementation across Vake, Mtatsminda, and Old Tbilisi parking zones would reduce average search time by 38% and central city CO_2 emissions by 22%.

(Received 19.05.2026)

АРХИТЕКТУРА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ПАРКОВКИ НА ОСНОВЕ IOT-ДАТЧИКОВ: МОДЕЛЬ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОГО РЕЗЕРВИРОВАНИЯ В КОНТЕКСТЕ ГОРОДСКОЙ СРЕДЫ ТБИЛИСИ

Кучава Г.[1], Картвелишвили И. [1], Чантурия Г. [2]

1-Грузинский Технический Университет
2-Университет Бизнеса и Технологий (Тбилиси)
kuchavagiorgi08@gtu.ge, s.kartvelishvili@gtu.ge, g.tchanturia@gmail.com

Резюме

Рассматривается архитектурная модель интеллектуальной системы парковки на основе IoT-датчиков, адаптированной к городской среде Тбилиси. В исследовании рассматриваются технические характеристики четырёхуровневой системы уровней сенсоров, связи, вычислений и сервисов сравнительный анализ типов датчиков, стек протоколов связи на основе NB-IoT, а также механизм предиктивного резервирования на основе машинного обучения. Согласно данным Тбилисской транспортной компании за 2022 год, дефицит парковочных мест в центре Тбилиси составляет 58%. Симуляционная оценка пилотного развёртывания показывает, что полномасштабное внедрение в парковочных зонах Ваке, Мтацминда и Старого Тбилиси позволит сократить среднее время поиска парковочного места на 38%, а выбросы CO_2 в центре города на 22%.

(Поступила 19.05.2026)

მანქანური სწავლების ამოცანებისთვის ღია მონაცემთა რესურსების მოძიებისა და შერჩევის თანამედროვე მიდგომები

სოფიო ბარნოვი, დალი მაგრაქველიძე, მაკა ტაბატაძე
საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი
s.barnovi@gtu.ge, d.magrakvelidze@gtu.ge, m.tabatadze@gtu.ge

რეზიუმე

სტატიაში განხილულია ღია მონაცემთა წყაროები და ცნობილ მონაცემთა ნაკრებები, რომლებიც გამოიყენება მანქანური სწავლების, ღრმა სწავლების, კომპიუტერული ხედვის, ბუნებრივი ენის დამუშავებისა და პროგნოზირების ამოცანებში. წარმოდგენილია როგორც ზოგადი დანიშნულების საცავები, ისე დარგობრივად სპეციალიზებული ეტალონური მონაცემთა ნაკრებები. სტატიის მიზანია მკვლევრებს, სტუდენტებსა და პრაქტიკოსებს შესთავაზოს სტრუქტურირებული ხედვა, თუ როგორ უნდა მოიძიონ, შეაფასონ და შეარჩიონ შესაბამისი მონაცემები კონკრეტული მანქანური სწავლების ამოცანისთვის. განსაკუთრებული ყურადღება ეთმობა მონაცემთა ხარისხს, ანოტაციებს, მეტამონაცემებს, ლიცენზიას, ექსპერიმენტულ გამოყენებას, ეთიკურ და საგანმანათლებლო საკითხებს.

საკვანძო სიტყვები: მონაცემთა ნაკრები. მანქანური სწავლება. ღია მონაცემები. კომპიუტერული ხედვა. ბუნებრივი ენის დამუშავება. პროგნოზირება. კლასიფიკაცია.

1. შესავალი

მანქანური სწავლების მოდელის ხარისხი მხოლოდ გამოყენებული ალგორითმით არ განისაზღვრება; ხშირად გადამწყვეტ როლს ასრულებს მონაცემთა ნაკრების სწორად შერჩევა, მისი დოკუმენტაციის სრულყოფილება და დასმულ ამოცანასთან შესაბამისობა.

თანამედროვე მანქანურ სწავლებაში მონაცემები აღარ განიხილება მხოლოდ მოდელის სწავლებისთვის საჭირო საწყის რესურსად; ისინი კვლევითი პროცესის ერთ-ერთ ძირითად კომპონენტს წარმოადგენს, რადგან სწორედ მათი მახასიათებლები და სტრუქტურა განსაზღვრავს, რა ტიპის კანონზომიერებებს გამოავლენს მოდელი, როგორ მოახდენს მიღებული ცოდნის განზოგადებას ახალ შემთხვევებზე და რამდენად სანდო იქნება მიღებული შედეგი. არასათანადო, ხმაურიანი ან ამოცანასთან შეუსაბამო მონაცემების გამოყენება შეიძლება გახდეს მიზეზი, რომ მაღალი ეფექტიანობის ალგორითმმაც კი ვერ უზრუნველყოს სანდო პროგნოზი.

მანქანური სწავლების პრაქტიკული ამოცანების ზრდასთან ერთად გაიზარდა ღია მონაცემთა საცავების მნიშვნელობაც. სტუდენტებისთვის ასეთი საცავები სასწავლო ამოცანების წყაროა; მკვლევრებისთვის - მოდელების შედარებისა და განმეორებადი ექსპერიმენტების საფუძველი; ხოლო ინდუსტრიისთვის - პროტოტიპების სწრაფად შექმნისა და იდეების შემოწმების შესაძლებლობა. ამიტომ მონაცემთა მოძიება და შეფასება უნდა განვიხილოთ არა მხოლოდ როგორც ტექნიკური პროცესი, არამედ როგორც მნიშვნელოვანი კვლევითი გადაწყვეტილება, რომელიც პირდაპირ უკავშირდება მოდელის ხარისხს, ეთიკურობასა და პრაქტიკულ გამოყენებადობას.

სტატიაში განხილულია **მანქანური სწავლების სხვადასხვა მიმართულებაში ფართოდ გამოყენებული ღია მონაცემთა რესურსები:** ზოგადი საცავები, კომპიუტერული ხედვის ეტალონური მონაცემთა ნაკრებები, ბუნებრივი ენის დამუშავების რესურსები, ფინანსური და დროითი მწკრივების მონაცემები, ასევე ღრუბლოვან პლატფორმებზე განთავსებული საჯარო

მონაცემები. წარმოდგენილი მასალა შეიძლება გამოყენებულ იქნას როგორც სასწავლო კურსებში, ისე სამაგისტრო ან სადოქტორო კვლევების საწყის ეტაპზე მონაცემთა წყაროების შესარჩევად.

2. ძირითადი ნაწილი

მონაცემთა ნაკრები მანქანური სწავლების პროცესში ასრულებს იმ ფუნქციას, რასაც გამოცდილება - ადამიანური სწავლისას. მოდელი მაგალითების საფუძველზე სწავლობს მახასიათებლებსა და სამიზნე ცვლადს შორის ურთიერთდამოკიდებულებას, ამოიცნობს კლასებს, პოულობს მსგავსებებს ან ქმნის პროგნოზს. ამ პროცესის ეფექტიანობა დამოკიდებულია არა მხოლოდ მონაცემთა რაოდენობაზე, არამედ მათ მრავალფეროვნებაზე, სიზუსტეზე, ბალანსზე, ანოტირების ხარისხსა და კონტექსტურ შესაბამისობაზე.

სწორად შერჩეული მონაცემთა ნაკრები უნდა შეესაბამებოდეს ამოცანის ტიპს. რეგრესიის ამოცანაში მნიშვნელოვანია რაოდენობრივი სამიზნე ცვლადის არსებობა; კლასიფიკაციაში - მკაფიოდ განსაზღვრული კლასები და მათი სათანადოდ წარმოდგენა; კომპიუტერულ ხედვაში - გამოსახულებების ხარისხი და ანოტაციები; ბუნებრივი ენის დამუშავებაში - ენობრივი მრავალფეროვნება, ტექსტური წყაროების სანდოობა და ამოცანასთან დაკავშირებული ნიშნულები; დროით მწკრივებში კი - დროის ინდექსის თანმიმდევრულობა და სეზონურობის ასახვის შესაძლებლობა.

კვლევითი თვალსაზრისით, შერჩევის პროცესში ასევე მნიშვნელოვანია მონაცემთა წყაროსა და ექსპერიმენტის განმეორებადობის უზრუნველყოფა. თუ წყარო სათანადოდ არის დოკუმენტირებული, მითითებულია მისი ვერსია, ლიცენზია და ციტირების წესი, ხოლო წინასწარი დამუშავების ეტაპები მკაფიოდ არის აღწერილი, სხვა მკვლევარს ეძლევა ექსპერიმენტის გამეორების შესაძლებლობა. სწორედ ამიტომ საჯაროდ ხელმისაწვდომი მონაცემთა რესურსების მართვის თანამედროვე მიდგომები ხაზს უსვამს მონაცემების ხელმისაწვდომობას, თავსებადობასა და ხელახლა გამოყენების შესაძლებლობას.

ზოგადი დანიშნულების საცავები გამოსადეგია მაშინ, როდესაც მკვლევარს ან სტუდენტს ჯერ არ აქვს შერჩეული კონკრეტული დომენი, მაგრამ სურს იპოვოს მონაცემთა ნაკრები რეგრესიის, კლასიფიკაციის, კლასტერიზაციის ან სხვა ტიპის ამოცანისთვის. ასეთი პლატფორმები ხშირად აერთიანებს მრავალფეროვან მონაცემებს სხვადასხვა სფეროდან და უზრუნველყოფს აღწერას, ჩამოტვირთვის ბმულებს, გამოყენების პირობებსა და ზოგჯერ კოდურ მაგალითებსაც.

UCI Machine Learning Repository ერთ-ერთი ყველაზე ცნობილი და ისტორიულად მნიშვნელოვანი საცავია მანქანური სწავლების მკვლევართათვის. იგი განსაკუთრებით ღირებულია სასწავლო პროცესში, რადგან მოიცავს როგორც კლასიკურ მცირე ზომის მონაცემთა ნაკრებებს, მაგალითად Iris, Wine, Breast Cancer და Adult, ასევე უფრო რთულ მონაცემებსაც. მისი უპირატესობა დეტალური დოკუმენტაციაა: მითითებულია ამოცანის ტიპი, მახასიათებლებისა და ჩანაწერების რაოდენობა, მონაცემთა სტრუქტურები და გამოყენების შესაძლებლობები [1].

OpenML გამოირჩევა არა მხოლოდ მონაცემთა გაზიარების, არამედ ექსპერიმენტების, მოდელებისა და შედეგების სტანდარტიზებული აღრიცხვის შესაძლებლობით. პლატფორმა ხელს უწყობს განმეორებად კვლევას, რადგან ერთი და იმავე მონაცემთა ნაკრებზე შესაძლებელია სხვადასხვა მოდელის, ჰიპერპარამეტრისა და შეფასების შედეგის შედარება [2]. აღნიშნული

შესაძლებლობა განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია სწავლებისა და სამეცნიერო კვლევების პროცესში, როდესაც საჭიროა შედეგების გამჭვირვალე წარმოდგენა.

Kaggle აერთიანებს მონაცემთა ნაკრებებს, კონკურსებს, ინტერაქტიულ სამუშაო გარემოებსა და მონაცემთა მეცნიერთა დარგის სპეციალისტებს [5]. მისი უპირატესობა პრაქტიკულობაზეა დაფუძნებული: მომხმარებელს შეუძლია გაეცნოს არა მხოლოდ მონაცემებს, არამედ სხვა მონაწილეთა მიერ შესრულებულ ანალიზს, ვიზუალიზაციებსა და მოდელებს. სასწავლო პროცესში Kaggle შეიძლება გამოყენებულ იქნას როგორც რეალური ამოცანების წყარო, თუმცა საჭიროა ლიცენზიის, წყაროს სანდოობისა და მონაცემების ხარისხის წინასწარი შეფასება.

AWS Open Data და Google BigQuery Public Datasets განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია დიდი მოცულობის მონაცემებთან მუშაობისთვის [3], [4]. ისინი ამარტივებენ საჯარო მონაცემებზე წვდომას ღრუბლოვან ინფრასტრუქტურაში და ხელს უწყობს ისეთი ამოცანების შესრულებას, სადაც მონაცემთა ლოკალურად ჩამოტვირთვა რთული ან არაეფექტურია. BigQuery-ის შემთხვევაში მკვლევარი საჯარო მონაცემთა ბაზებს SQL მოთხოვნებით ამუშავებს, რაც სასარგებლოა დიდი მონაცემების ანალიტიკისა და წინასწარი დამუშავებისთვის. **Awesome Public Datasets** არის GitHub-ზე განთავსებული საჯარო მონაცემთა წყაროების თემატურად ორგანიზებული ჩამონათვალი, რომელიც სხვადასხვა სფეროს მონაცემთა რესურსებს ერთ სივრცეში აერთიანებს [16].

შემდეგ განვიხილავთ კომპიუტერული ხედვის, ბუნებრივი ენის დამუშავების, ფინანსური და ბიზნეს-ანალიტიკის, აგრეთვე დროით მწკრივებთან დაკავშირებულ მონაცემთა რესურსებს.

კომპიუტერული ხედვის განვითარება მჭიდროდ უკავშირდება ფართომასშტაბიან და სათანადოდ ანოტირებული ვიზუალური მონაცემების ხელმისაწვდომობას. გამოსახულების კლასიფიკაცია, ობიექტების აღმოჩენა, სეგმენტაცია, გამოსახულების აღწერა და ავტონომიური მართვა შეუძლებელია მრავალფეროვანი ვიზუალური მაგალითების გარეშე. ასეთ ამოცანებში მონაცემთა ნაკრების ხარისხი განისაზღვრება გამოსახულებების რაოდენობით, სცენების მრავალფეროვნებით, ანოტაციების სიზუსტით და რეალური მონაცემების კომპლექსურობით.

MNIST წარმოადგენს ხელნაწერი ციფრების კლასიკურ მონაცემთა ნაკრებს და ფართოდ გამოიყენება გამოსახულების კლასიფიკაციის ამოცანებში [8]. მისი სიმარტივე სასწავლო თვალსაზრისით დიდი უპირატესობაა: სტუდენტს შეუძლია სწრაფად გაიგოს, როგორ იტვირთება გამოსახულებები, როგორ გარდაიქმნება პიქსელები მახასიათებლებად და როგორ ფასდება კლასიფიკაციის მოდელი. თუმცა, კვლევითი თვალსაზრისით MNIST უკვე ზედმეტად მარტივ ეტალონურ მონაცემთა ნაკრებად მიიჩნევა და არ არის საკმარისი თანამედროვე ღრმა სწავლების მოდელების შეფასებისთვის.

ImageNet-მა მნიშვნელოვანი როლი შეასრულა ღრმა სწავლების განვითარებაში. მისი მასშტაბურობა და მრავალკლასიანი სტრუქტურა საშუალებას აძლევდა მკვლევრებს შეეფასებინათ მოდელები დიდი რაოდენობის ობიექტის კატეგორიაზე. ImageNet Large Scale Visual Recognition Challenge წლების განმავლობაში კომპიუტერული ხედვის ალგორითმების პროგრესის შეფასების ერთ-ერთ მნიშვნელოვან ეტალონურ გარემოს წარმოადგენდა [6].

COCO (Common Objects in Context) ორიენტირებულია ბუნებრივ კონტექსტში წარმოდგენილი ობიექტების დამუშავებაზე. მონაცემთა ნაკრები გამოიყენება ობიექტების დეტექციის, სეგმენტაციისა და გამოსახულებების აღწერის ამოცანებში [7]. მისი კვლევითი ღირებულება განსაკუთრებით უკავშირდება მრავალობიექტიან სცენებსა და ობიექტების

ბუნებრივ გარემოში წარმოდგენას, რაც მოდელების უფრო რთულ და რეალისტურ პირობებში შეფასების შესაძლებლობას იძლევა.

ავტონომიური მართვისა და ურბანული სცენების ანალიზისთვის განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია KITTI და Cityscapes. KITTI მოიცავს სხვადასხვა სენსორიდან მიღებულ ინფორმაციას, მათ შორის კამერის გამოსახულებებსა და 3D წერტილოვან მონაცემებს, რომლებიც გამოიყენება ობიექტების დეტექციის, მოძრაობის თვალყურის დევნების, ოპტიკური ნაკადისა და სცენის აღქმის ამოცანებში [12]. Cityscapes კი ორიენტირებულია ურბანული გარემოს სემანტიკურ და ინსტანსურ სეგმენტაციაზე [13]. აღნიშნული რესურსები ნათლად აჩვენებს, რომ თანამედროვე კომპიუტერული ხედვის მონაცემთა ნაკრები შეიძლება წარმოადგენდეს მრავალმოდალურ გარემოს, რომელშიც ვიზუალური, სივრცითი და ანოტაციური ინფორმაცია ინტეგრირებული სახითაა წარმოდგენილი.

ბუნებრივი ენის დამუშავება მონაცემებზე განსაკუთრებით მგრძნობიარე მიმართულებაა, რადგან ტექსტური მონაცემები ასახავს არა მხოლოდ სიტყვებს, არამედ კულტურულ კონტექსტს, ენობრივ სტილს, სუბიექტურ შეფასებებსა და ზოგჯერ მიკერძოებებსაც. ამიტომ NLP მონაცემთა ნაკრების შერჩევისას მნიშვნელოვანია ენის, სფეროს, ტექსტის ჟანრის, ანოტაციის წესისა და გამოყენების პირობების გააზრება. GLUE წარმოადგენს ბუნებრივი ენის გაგების შეფასების ეტალონს, რომელიც აერთიანებს რამდენიმე ამოცანას: ტექსტების მსგავსებას, დასკვნის გამოტანას, განწყობის ანალიზს და სხვა [9]. მისი ღირებულება იმაში მდგომარეობს, რომ იგი მოდელს მხოლოდ ერთ ამოცანაზე არ აფასებს; GLUE ცდილობს შეამოწმოს, რამდენად ზოგადი და მრავალმხრივია მოდელის ენობრივი გაგება.

SQuAD ფართოდ გამოიყენება კითხვაზე პასუხის გაცემისა და ტექსტის გაგების ამოცანებისთვის [10]. მონაცემთა ნაკრები ეფუძნება Wikipedia-ს სტატიებს, რომლებზეც დასმულია კითხვები, ხოლო პასუხი ტექსტის კონკრეტულ მონაკვეთს წარმოადგენს. ასეთი სტრუქტურა დადებით როლს ასრულებს მოდელების შესაფასებლად, რადგან სისტემამ უნდა იპოვოს შესაბამისი კონტექსტი და ზუსტი პასუხი. მოგვიანებით SQuAD-ის ვერსიებში გაჩნდა ისეთი კითხვებიც, რომლებზეც პასუხი მოცემულ ტექსტში არ არსებობს, რაც ამოცანას უფრო რეალისტურს ხდის.

IMDB Movie Reviews ხშირად გამოიყენება განწყობის ანალიზის სწავლებისთვის [11]. მონაცემთა ნაკრები მოიცავს ფილმების მიმოხილვებს, რომლებიც დადებით და უარყოფით კლასებადაა დაყოფილი. მისი მაგალითით სტუდენტი მარტივად ხედავს ტექსტის წინასწარი დამუშავების, ვექტორიზაციის, კლასიფიკაციისა და შეფასების სრულ ციკლს. თუმცა რეალურ კვლევაში აუცილებელია გაითვალისწინოს, რომ ფილმების მიმოხილვების ენა კონკრეტულ ჟანრსა და პლატფორმას უკავშირდება, რის გამოც ამ მონაცემებზე გაწვრთნილი მოდელის სხვა ტიპის ტექსტებზე განზოგადების შესაძლებლობა დამატებით შეფასებას საჭიროებს.

დროითი მწკრივები და ფინანსური მონაცემები განსაკუთრებულ მეთოდოლოგიურ მიდგომას საწიროებს, რადგან მათში დროის ფაქტორი ცენტრალურია. აქ მონაცემები არ უნდა აირიოს შემთხვევითად ისე, როგორც ჩვეულებრივ კლასიფიკაციის ამოცანებში ხდება; საჭიროა დროითი თანმიმდევრობის დაცვა, გრძელვადიანი ცვლილების მიმართულება (ტენდენციისა) და სეზონურობის გათვალისწინება, ასევე მომავალი ინფორმაციის შემთხვევითი გაჟონვის თავიდან აცილება. ფინანსურ და ეკონომიკურ მონაცემებში ფართოდ გამოიყენება Nasdaq Data Link, რომელიც ადრე Quandl-ის სახელით იყო ცნობილი [15]. პლატფორმა აერთიანებს ფინანსურ,

ეკონომიკურ და ალტერნატიულ მონაცემებს, რომელთა ნაწილი ხელმისაწვდომია API-ების საშუალებით. ასეთი მონაცემები გამოიყენება საფონდო ბაზრის ანალიზში, ეკონომიკური ინდიკატორების კვლევაში, რისკების შეფასებასა და პროგნოზირების მოდელებში. ამასთან, აუცილებელია შემოწმდეს მონაცემთა ხელმისაწვდომობის დონე, ფასიანი შეზღუდვები და ლიცენზიის პირობები.

ბიზნესისა და საცალო ვაჭრობის პროგნოზირების მიმართულებით მნიშვნელოვანია M5 Forecasting მონაცემთა ნაკრები, რომელიც დაკავშირებულია Walmart-ის გაყიდვების იერარქიულ დროით მწკრივებთან [14]. იგი გამოიყენება მოთხოვნის პროგნოზირების, პროდუქტების მართვისა და მიწოდების ჯაჭვის ოპტიმიზაციის მოდელების შესამოწმებლად. ასეთი მონაცემები განსაკუთრებით საინტერესოა, რადგან აერთიანებს რეალურ ბიზნეს კონტექსტს, პროდუქტების იერარქიას, კალენდარულ ეფექტებსა და დიდი რაოდენობის დროით მწკრივებს.

Kaggle-ის პროგნოზირების კონკურსები და BigQuery-ის საჯარო მონაცემები დამატებით ქმნის გარემოს, სადაც შესაძლებელია ენერგეტიკის, ტრანსპორტის, ჯანდაცვის, გარემოსა და სოციალური მონაცემების ანალიზი. მაგალითად, ამინდის ისტორიული მონაცემები შეიძლება გამოყენებულ იქნას ტემპერატურის ან ენერგომოხმარების პროგნოზირებისთვის; ტრანსპორტის მონაცემები - მგზავრთა ნაკადის ან სატრანსპორტო მოთხოვნის პროგნოზისთვის; ჯანდაცვის მონაცემები კი - ეპიდემიოლოგიური ტენდენციების ან პაციენტთა ნაკადის ანალიზისთვის.

მონაცემთა ნაკრების შერჩევისა და შეფასების ძირითადი კრიტერიუმები შემდეგნაირად შეიძლება ჩამოყალიბდეს:

პირველი კრიტერიუმია ამოცანასთან შესაბამისობა. შერჩევის საწყის ეტაპზე მკაფიოდ უნდა განისაზღვროს გადასაჭრელი ამოცანის ტიპი - რეგრესია, კლასიფიკაცია, კლასტერიზაცია, რეკომენდაცია, სეგმენტაცია, კითხვაზე პასუხის გაცემა თუ დროითი მწკრივების პროგნოზირება. ამის შემდეგ ფასდება, შეიცავს თუ არა მონაცემთა ნაკრები შესაბამის სამიზნე ცვლადს, საკმარის ინფორმაციულ მახასიათებლებსა და ამოცანის გადასაჭრელად საჭირო კონტექსტს.

მეორე კრიტერიუმია მონაცემთა ხარისხი. მონაცემებში შეიძლება არსებობდეს გამოტოვებული მნიშვნელობები, დუბლიკატები, კლასების დისბალანსი, ხმაური, არაზუსტი ანოტაციები ან შერჩევითი მიკერძოება. ასეთი პრობლემები არ ნიშნავს, რომ მონაცემთა ნაკრები გამოუსადეგარია, მაგრამ აუცილებელია მათი აღწერა და შესაბამისი წინასწარი დამუშავების დაგეგმვა. აკადემიურ ნაშრომში მკაფიოდ უნდა იყოს აღწერილი გამოვლენილი პრობლემები და მათი დამუშავების მეთოდები.

მესამე კრიტერიუმია დოკუმენტაცია და მეტამონაცემების ხარისხი. სანდო მონაცემთა რესურსს უნდა ახლდეს ინფორმაცია პირველადი წყაროს, შეგროვების მეთოდოლოგიის, მახასიათებლების განმარტებების, კლასების მნიშვნელობების, ლიცენზიისა და ციტირების წესის შესახებ. არასრული დოკუმენტაცია ართულებს მონაცემთა სწორ ინტერპრეტაციას და კვლევის განმეორებადობას.

მეოთხე კრიტერიუმია ლიცენზია და ეთიკური შესაბამისობა. ღია მონაცემი ავტომატურად არ ნიშნავს, რომ მისი გამოყენება ნებისმიერი მიზნისთვის შეიძლება. საჭიროა გადამოწმდეს, ნებადართულია თუ არა კომერციული გამოყენება, შესაძლებელია თუ არა მონაცემთა გადამუშავება, შეიცავს თუ არა პერსონალურ ინფორმაციას და ხომ არ არსებობს მიკერძოების ან ზიანის რისკი კონკრეტული ჯგუფების მიმართ. განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია ეს საკითხები ჯანდაცვის, ფინანსების, სოციალური მედიისა და ადამიანების გამოსახულებების მონაცემებში.

მეხუთე კრიტერიუმია მასშტაბურობა და ტექნიკური ხელმისაწვდომობა. მცირე სასწავლო მონაცემთა ნაკრები შეიძლება იდეალური იყოს ალგორითმის ასახსნელად, მაგრამ არასაკმარისი იყოს თანამედროვე ღრმა მოდელის შესაფასებლად. პირიქით, დიდი მონაცემთა ბაზა შეიძლება კვლევით ღირებული იყოს, მაგრამ საჭიროებდეს ღრუბლოვან ინფრასტრუქტურას, GPU რესურსებს ან სპეციფიკურ API-ებს. ამიტომ მონაცემთა არჩევა უნდა შეესაბამებოდეს როგორც კვლევის მიზანს, ისე ხელმისაწვდომ ტექნიკურ რესურსებს.

სასწავლო პროცესში მონაცემთა ნაკრებების შერჩევა უნდა ეფუძნებოდეს სირთულის თანდათანობით ზრდას. პირველ ეტაპზე მიზანშეწონილია მცირე და მკაფიო მონაცემთა ნაკრებები, მაგალითად Iris, Breast Cancer, MNIST ან IMDB-ის შემცირებული ვერსია. მათი საშუალებით სტუდენტები სწრაფად ხედავენ მოდელის აგების სრულ ციკლს: მონაცემების ჩატვირთვას, წინასწარ დამუშავებას, მოდელის სწავლებას, შეფასებას და შედეგების ინტერპრეტაციას. მომდევნო ეტაპზე შესაძლებელია უფრო რთული მონაცემების გამოყენება, სადაც ჩნდება რეალური პრობლემები: გამოტოვებული მნიშვნელობები, კატეგორირებული მონაცემები, კლასების დისბალანსი, ტექსტის ხმაური, სურათების მრავალფეროვნება ან დროითი დამოკიდებულებები. ასეთ გარემოში სტუდენტი სწავლობს არა მხოლოდ ალგორითმს, არამედ მონაცემთა მეცნიერების სრულ მეთოდოლოგიას.

ძირითადი მონაცემთა საცავები და მათი გამოყენება **ცხრ.1**

რესურსი	ძირითადი დანიშნულება	უპირატესობა	გამოყენება
UCI Machine Learning Repository	სასწავლო და კვლევითი მონაცემთა ნაკრებები	კარგად აღწერილი მცირე და საშუალო მონაცემთა ნაკრებები	კლასიფიკაცია, რეგრესია
OpenML	მონაცემები, ამოცანები და ექსპერიმენტები	კვლევითი ექსპერიმენტები და შედეგების შედარება	მოდელების შედარებითი ანალიზი
Kaggle	მონაცემები და კონკურსები	პრაქტიკული მაგალითები	სასწავლო პროექტები, კონკურსები
AWS Open Data	ღრუბლოვანი ღია მონაცემები	დიდი მონაცემების დამუშავება AWS ეკოსისტემაში	სატელიტური, გენომიკა, კლიმატი
Google BigQuery Public Datasets	SQL-ზე დაფუძნებული საჯარო მონაცემები	დიდი მონაცემების ანალიზი ჩამოტვირთვის გარეშე	ფინანსები, ტრანსპორტი, ჯანდაცვა
Awesome Public Datasets	შერჩეულ მონაცემთა ბმულების სია	სხვადასხვა დომენის მონაცემთა წყაროების სწრაფი მოძიება	საწყისი კვლევითი ძიება

დარგობრივად სპეციალიზებული ეტალონური მონაცემთა ნაკრებები **ცხრ.2**

დარგი (სფერო)	მონაცემთა ნაკრები	ამოცანა	სასწავლო/კვლევითი ღირებულება
კომპიუტერული ხედვა	**MNIST**	ხელნაწერი ციფრების კლასიფიკაცია	დამწყებთათვის მარტივი სტანდარტი
კომპიუტერული ხედვა	**ImageNet**	გამოსახულების კლასიფიკაცია და დეტექცია	დიდმასშტაბიანი შეფასება
კომპიუტერული ხედვა	**COCO**	დეტექცია, სეგმენტაცია, captioning	რეალური კონტექსტის მქონე სცენები
ავტონომიური მართვა	**KITTI, Cityscapes**	3D დეტექცია, ურბანული სეგმენტაცია	რეალური გზისა და ქალაქის სცენები
NLP	**GLUE**	ენის გაგება და შეფასება	მოდელების ზოგადი ენობრივი უნარის შედარება
NLP	**SQuAD**	კითხვაზე პასუხი და ტექსტის გაგება	კონტექსტიდან პასუხის მოძიება

NLP	**IMDB Reviews**	განწყობის ანალიზი	ტექსტის კლასიფიკაციის მარტივი მაგალითი
პროგნოზირება	**M5 Forecasting**	მოთხოვნის/გაყიდვების პროგნოზირება	დროითი მწკრივები

3. დასკვნა

ღია მონაცემთა რესურსები მნიშვნელოვან როლს ასრულებს მანქანური სწავლების განვითარებაში. ისინი ქმნიან შესაძლებლობას, სტუდენტებმა პრაქტიკულად აითვისონ ალგორითმების მუშაობის პრინციპები, მკვლევრებმა შეადარონ სხვადასხვა მოდელის ეფექტიანობა, ხოლო პრაქტიკოსებმა სწრაფად შეამოწმონ ახალი იდეები რეალურ ან რეალობასთან მიახლოებულ მონაცემებზე. თუმცა მონაცემთა ხელმისაწვდომობა თავისთავად არ არის საკმარისი მაღალი ხარისხის კვლევითი ან პრაქტიკული შედეგის მისაღებად. აუცილებელია მონაცემთა ნაკრების სწორად შერჩევა, მისი ხარისხის შეფასება, დოკუმენტაციის გაანალიზება, გამოყენების ლიცენზიის გადამოწმება და შესაძლო ეთიკური რისკების გათვალისწინება.

ზოგადი დანიშნულების მონაცემთა საცავები, როგორიცაა UCI Machine Learning Repository, OpenML, Kaggle, AWS Open Data და Google BigQuery Public Datasets, ხელს უწყობს სხვადასხვა ტიპის მონაცემთა მოძიებასა და გამოყენებას მანქანური სწავლების მრავალფეროვან ამოცანებში. ამასთან, დარგობრივად სპეციალიზებული ეტალონური მონაცემთა ნაკრებები, მათ შორის ImageNet, COCO, MNIST, GLUE, SQuAD, IMDB, KITTI, Cityscapes და M5 Forecasting, ქმნის სტანდარტიზებულ საფუძველს მოდელების შეფასების, შედარებისა და მიღებული შედეგების სანდო ანალიზისთვის. შესაბამისად, ხარისხიანი მონაცემთა ნაკრები არ უნდა განვიხილოთ მხოლოდ როგორც ცალკეული ფაილი ან ცხრილი; იგი წარმოადგენს კვლევით კონტექსტს, რომელიც მნიშვნელოვნად განსაზღვრავს, რამდენად სანდო, განმეორებადი, კვლევითი და პრაქტიკულად ღირებული იქნება მანქანური სწავლების საფუძველზე მიღებული შედეგი.

ლიტერატურა – References – Литература:

1. University of California Irvine. UCI Machine Learning Repository. https://archive.ics.uci.edu/ (02.05.26)
2. OpenML. Open Machine Learning Platform and Documentation. https://www.openml.org/, https://docs.openml.org/ (02.05.26)
3. Amazon Web Services. Registry of Open Data on AWS. https://registry.opendata.aws/ (02.05.26)
4. Google Cloud. BigQuery Public Datasets Documentation. https://cloud.google.com/bigquery/public-data (02.05.26)
5. Kaggle. Datasets and AI Competitions. https://www.kaggle.com/datasets, https://www.kaggle.com /competitions (02.05.26)
6. Russakovsky O., Deng J., Su H., et al. (2015). ImageNet Large Scale Visual Recognition Challenge. International Journal of Computer Vision, 115, 211-252. https://doi.org/10.1007/s11263-015-0816-y
7. Lin T.-Y., Maire M., Belongie S., et al. (2014). Microsoft COCO: Common Objects in Context. European Conference on Computer Vision. https://doi.org/10.1007/978-3-319-10602-1_48
8. LeCun Y., Cortes C., Burges C.J.C. MNIST Handwritten Digit Database. https://yann.lecun.org/ exdb/mnist/ (02.05.26)
9. Wang A., Singh A., Michael J., et al. (2018). GLUE: A Multi-Task Benchmark and Analysis Platform for Natural Language Understanding. Proceedings of the 2018 EMNLP Workshop BlackboxNLP
10. Rajpurkar P., Zhang J., Lopyrev K., Liang P. (2016). SQuAD: 100,000+ Questions for Machine Comprehension of Text. Proceedings of EMNLP 2016
11. Maas A.L., Daly R.E., Pham P.T., et al. (2011). Learning Word Vectors for Sentiment Analysis. Proceedings of ACL-HLT 2011

12. Geiger A., Lenz P., Urtasun R. (2012). Are We Ready for Autonomous Driving? The KITTI Vision Benchmark Suite. IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition
13. Cordts M., Omran M., Ramos S., et al. (2016). The Cityscapes Dataset for Semantic Urban Scene Understanding. IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition
14. Makridakis S., Spiliotis E., Assimakopoulos V. (2022). M5 Accuracy Competition: Results, Findings, and Conclusions. International Journal of Forecasting. 38(4), 1346-1364
15. Nasdaq Data Link. Documentation and API Guides. https://docs.data.nasdaq.com/ (02.05.26)
16. Awesome Public Datasets. A topic-centric list of public data sources. https://github.com/awesomedata/awesome-public-datasets (02.05.26)
17. Wilkinson M.D., Dumontier M., Aalbersberg I.J., et al. (2016). The FAIR Guiding Principles for Scientific Data Management and Stewardship. Scientific Data, 3, 160018. https://doi.org/10.1038 /sdata.2016.18.

(სტატია მიღებულია 14.05.2026)

MODERN APPROACHES TO THE SEARCH AND SELECTION OF OPEN DATA RESOURCES FOR MACHINE LEARNING TASKS

Barnovi Sophio, Magrakvelidze Dali, Tabatadze Maka
Georgian Technical University
s.barnovi@gtu.ge, d.magrakvelidze@gtu.ge, m.tabatadze@gtu.ge

Summary

This article reviews major open data repositories and widely used benchmark datasets in machine learning, deep learning, computer vision, natural language processing, and forecasting tasks. It examines both general-purpose platforms and domain-specific datasets, with particular attention to data quality, metadata, licensing, annotations, experimental design, ethical considerations, and educational applications. The aim of the article is to provide researchers, students, and practitioners with a concise academic overview of methods for searching, evaluating, and selecting datasets appropriate for specific machine learning tasks.

(Received 14.05.2026)

СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ К ПОИСКУ И ОТБОРУ ОТКРЫТЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ РЕСУРСОВ ДЛЯ ЗАДАЧ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ

Барнови С., Мграквелидзе Д., Табатадзе М.
Грузинский Технический Университет
s.barnovi@gtu.ge, d.magrakvelidze@gtu.ge, m.tabatadze@gtu.ge

Резюме

Рассматриваются основные открытые репозитории данных и широко используемые наборы данных в задачах машинного обучения, глубокого обучения, компьютерного зрения, обработки естественного языка и прогнозирования. Рассматриваются как универсальные платформы, так и специализированные наборы данных, с особым вниманием к качеству данных, метаданным, лицензированию, аннотациям, экспериментальному дизайну, этическим соображениям и образовательным приложениям. Цель статьи – предоставить исследователям, студентам и практикам краткий академический обзор методов поиска, оценки и выбора наборов данных, подходящих для конкретных задач машинного обучения.

(Поступила 14.05.2026)

ჭკვიანი ქალაქის ინფრასტრუქტურაში ასფალტის დეფორმაციის რეოლოგიური მოდელირება და მისი პროგნოზული ანალიზი

მანწკავა მაკა, ჭოხონელიძე შალვა

ივანე ბერიტაშვილის ექსპერიმენტული ბიომედიცინის ცენტრი

maia.mantskava@eu.edu.ge, tchokhonelidze.shalva@atsu.edu.ge

რეზიუმე

განხილულია რეოლოგიაზე დაფუძნებული ანალიტიკური ჩარჩო ასფალტის სამი ძირითადი კოროზიის მექანიზმის: დაღარვის (rutting), დაღლილობითი ბზარვისა (fatigue cracking) და თერმული ბზარვის (thermal cracking) პროგნოზირებისთვის. შემოთავაზებული ჩარჩო აერთიანებს ფიზიკურ-მათემატიკურ მოდელებს IoT სენსორების მონაცემებთან, რაც საფუძველს უყრის წინასწარგამოთვლით ტექნიკური მომსახურების სტრატეგიასა და ციფრული ტყუპების (digital twin) გარემოს ფორმირებას ურბანული საგზაო ქსელისთვის. შედეგები ცხადყოფს, რომ რეოლოგიური მოდელირება მნიშვნელოვნად ზრდის ინფრასტრუქტურის ქცევის პროგნოზის სიზუსტეს და ქმნის ბაზას ინტელექტუალური სატრანსპორტო სისტემების მართვისთვის.

საკვანძო სიტყვები: ასფალტი. რეოლოგია. ვისკოელასტიკა. დარუტვა. დაღლილობითი ბზარვა. თერმული ბზარვა. *ჭკვიანი ქალაქი. IoT. ციფრული ტყუპი. პროგნოზული ტექნიკური მომსახურება.*

1. შესავალი

ჭკვიანი ქალაქის თანამედროვე ინფრასტრუქტურა საჭიროებს მოწინავე პროგნოზულ მექანიზმებს საგზაო ქსელის სიმტკიცის, უსაფრთხოებისა და ეკონომიკური ეფექტიანობის უზრუნველსაყოფად. ასფალტის საფარი, როგორც ვისკოელასტიკური მასალა, მექანიკური დატვირთვისა და გარემო ფაქტორების გავლენით ავლენს დროზე დამოკიდებულ დეფორმაციას.

ურბანიზაციის სწრაფმა ტემპმა და ჭკვიანი ქალაქის (smart city) კონცეფციის განვითარებამ რადიკალურად შეცვალა მოთხოვნები საგზაო ინფრასტრუქტურის მიმართ. თანამედროვე ქალაქი მხოლოდ ფიზიკური ობიექტი აღარ არის, ის წარმოადგენს კიბერ-ფიზიკური სისტემების ერთობლიობას, სადაც სენსორული ქსელები, მონაცემთა ანალიტიკა და ხელოვნური ინტელექტი ერთიანდება ფიზიკურ ობიექტებთან [1, 2]. მოცემულ კონტექსტში საგზაო საფარის მდგომარეობის უწყვეტი მონიტორინგი და მისი შესაძლო კოროზიის წინასწარი პროგნოზირება ხდება გადამწყვეტი ფაქტორი ინფრასტრუქტურის სასიცოცხლო ციკლის ეფექტიანი მართვისათვის.

ასფალტობეტონი, საგზაო საფარის ყველაზე გავრცელებული მასალა, წარმოადგენს რთული შემადგენლობის ბიტუმოვან(მოქნილ) კომპოზიტს(ხელოვნურად შექმნილ მყარ მასალას), რომლის მექანიკური ქცევა მკვეთრად განსხვავდება იდეალური დრეკადი ან პლასტიკური სხეულის ქცევისგან. ასფალტი ვისკოელასტიკური მასალაა მისი დეფორმაცია დამოკიდებულია არა მხოლოდ მოქმედი ძაბვის სიდიდეზე, არამედ დატვირთვის ხანგრძლივობასა და ტემპერატურაზე [3]. სწორედ ეს თვისებაა იმის მიზეზი, რომ ასფალტის ქცევის აღწერისთვის კლასიკური დრეკადობის თეორია არასაკმარისია და აუცილებელი ხდება რეოლოგიური მიდგომების გამოყენება.

ასფალტის საფარის ნგრევის სამი ძირითადი მექანიზმი არსებობს დარუტვა იგივე პლასტიკური დაღარვა, დაღლილობითი ბზარვა და დაბალტემპერატურული თერმული ბზარვა, ერთობლივად განსაზღვრავენ გზის სიცოცხლის ციკლს. ტრადიციული მიდგომა, რომელიც ემყარება პერიოდულ ვიზუალურ შემოწმებასა და ემპირიულ კოეფიციენტებს, ვერ აღწევს იმ ზუსტი პროგნოზების მიწოდებას, რასაც მოითხოვს თანამედროვე ჭკვიანი ინფრასტრუქტურის მართვის სისტემები [4]. აღნიშნული პრობლემის გადასაჭრელად საჭიროა ჰიბრიდული მიდგომა, რომელიც აერთიანებს ფიზიკურ-მათემატიკურ მოდელირებას რეალურ დროში მიღებულ მონაცემებთან.

1.1. კვლევის მიზანი და ამოცანები

წინამდებარე კვლევის მიზანია ასფალტის დეფორმაციის რეოლოგიური მოდელირე-ბისთვის ანალიტიკური ჩარჩოს შემუშავება, რომელიც ინტეგრირდება ჭკვიანი ქალაქის ინფრასტრუქტურის IoT სენსორულ ქსელთან და უზრუნველყოფს ნგრევის პროგნოზულ ანალიზს. კვლევის ძირითადი ამოცანებია:

- ასფალტის ვისკოელასტიკური ქცევის აღმწერი მათემატიკური მოდელების სისტემატიზაცია სამივე ნგრევის მექანიზმისთვის;
- რეოლოგიური მოდელების ინტეგრაცია IoT მონაცემთა ნაკადებთან რეალურ დროში;
- ციფრული ტყუპის (digital twin) არქიტექტურის შემუშავება საგზაო საფარის მონიტორინგისთვის;
- პროგნოზული ტექნიკური მომსახურების ალგორითმების ფორმირება, რომლებიც ამცირებენ ექსპლუატაციის ხარჯებს და ზრდიან ინფრასტრუქტურის გამძლეობას.

2. ძირითადი ნაწილი

2.1. ასფალტის რეოლოგიური ქცევა

ასფალტის ვისკოელასტიკური ბუნება პირველად სისტემატურად შეისწავლა Van der Poel-მა (1954) მიერ შემუშავებული ნომოგრამის საშუალებით, რომელიც აკავშირებდა ბიტუმის სიხისტის მოდულს ტემპერატურასთან და დატვირთვის სიხშირესთან [3]. შემდგომ ათწლეულებში განვითარდა უფრო რთული მოდელები Maxwell-ის, Kelvin-Voigt-ის და განზოგადებული Burgers-ის მოდელები, რომლებიც ვისკოელასტიკურ ქცევას წარმოადგენენ რესორებისა და დემპფერების ერთობლიობით [5].

Christensen-ისა და Anderson-ის (1992) მიერ ჩამოყალიბებული ე.წ. CA მოდელი დღემდე წარმოადგენს ერთ-ერთ ფართოდ გამოყენებად ინსტრუმენტს ბიტუმის კომპლექსური მოდულის სიხშირულ-ტემპერატურული დამოკიდებულების აღსაწერად [6]. Superpave პროგრამის ფარგლებში დანერგილი დინამიკური მოყინვის რეომეტრის (DSR) გამოცდები საშუალებას იძლევა ექსპერიმენტულად განისაზღვროს მასალის რეოლოგიური პარამეტრები ფართო ტემპერატურულ დიაპაზონში.

2.2. ნგრევის მექანიზმების მოდელირება

დარუტვის პროგნოზირებისთვის გავრცელებულია ხარისხოვანი (power-law) ტიპის მოდელები, რომელთა საფუძვლები ჩაუყარეს Monismith-მა და კოლეგებმა [7]. AASHTO-ს Mechanistic-Empirical Pavement Design Guide (MEPDG) იყენებს გაუმჯობესებულ ვერსიას, სადაც გათვალისწინებულია ტემპერატურის გავლენა მცოცველობის (creep compliance) მახასიათებლებზე [8].

დაღლილობითი ბზარვის ცნობილი მოდელები მოიცავს Asphalt Institute-ის და Shell-ის ფორმულებს, რომლებიც აკავშირებენ დაღლილობის სიცოცხლეს გასაჭიმ დეფორმაციასთან და სიხისტის მოდულთან [9]. უფრო თანამედროვე მიდგომები ემყარება უწყვეტი დაზიანების მექანიკას (continuum damage mechanics, CDM), რომელსაც Kim-მა და თანაავტორებმა (1997) მიეცათ რეოლოგიური ინტერპრეტაცია [10].

თერმული ბზარვის შესწავლის სფეროში გამორჩეული წვლილი შეიტანა Hills-მა და Brien-მა, რომელთა მოდელი ეფუძნება იდეას, რომ ბზარი ჩნდება მაშინ, როცა თერმული ძაბვა აღემატება მასალის სიმტკიცეს [11]. SHRP პროგრამის ფარგლებში შემუშავდა TSRST (Thermal Stress Restrained Specimen Test) მეთოდი, რომელიც დღემდე საბაზისო ექსპერიმენტული პროცედურაა [12].

2.3. ჭკვიანი ინფრასტრუქტურა და ციფრული ტყუპები

ჭკვიანი გზების კონცეფცია, რომელიც სათავეს იღებს Intelligent Transportation Systems (ITS) მოძრაობიდან, ბოლო ათწლეულში გადაიზარდა Pavement 4.0 პარადიგმაში [13]. ციფრული ტყუპის (digital twin) ტექნოლოგია, თავდაპირველად გამოყენებული საავიაციო სფეროში, ბოლო წლებში წარმატებით ინერგება საგზაო ინფრასტრუქტურის მართვაშიც [14]. ციფრული ტყუპი წარმოადგენს ფიზიკური ობიექტის რეალურ-დროითი მონაცემებით განახლებად ვირტუალურ რეპლიკას, რომელიც საშუალებას იძლევა იწინასწარმეტყველოს ობიექტის ქცევა და დაგეგმოს ინტერვენციები ნგრევის გამოვლენამდე.

3. მეთოდოლოგია

3.1. რეოლოგიური ჩარჩოს ზოგადი არქიტექტურა

შემოთავაზებული ანალიტიკური ჩარჩო მოიცავს სამ ფუნქციონალურ შრეს: (ა) ფიზიკურ-მათემატიკური მოდელების შრე, რომელიც აღწერს ასფალტის ვისკოელასტიკურ ქცევას; (ბ) მონაცემთა შრე, რომელიც აერთიანებს IoT სენსორების ნაკადებს ტემპერატურის, დატვირთვისა და დეფორმაციის შესახებ; (გ) გადაწყვეტილების შრე, რომელიც პროგნოზული ალგორითმების საფუძველზე აგენერირებს რეკომენდაციებს ტექნიკური მომსახურების შესახებ. ჩარჩოს არქიტექტურა მოცემულია ცხრილ 1-ში.

ანალიტიკური ჩარჩოს ფუნქციონალური შრეების სტრუქტურა. ცხრ.1

შრე	ძირითადი კომპონენტები	ფუნქცია
ფიზიკური	რეოლოგიური მოდელები (Burgers, CDM, ხარისხოვანი კანონი)	ასფალტის ვისკოელასტიკური ქცევის აღწერა, ნგრევის მექანიზმების ფორმალიზაცია
მონაცემთა	IoT სენსორები: ტემპერატურის, ვიბრაციის, ტენზო-, აქსელერომეტრიული	რეალურ დროში მონაცემთა შეგროვება, წინასწარი დამუშავება, შრომოლავი ფილტრაცია
გადაწყვეტილების	მანქანური სწავლება, პროგნოზული მოდელები, შეტყობინების სისტემა	ნგრევის პროგნოზი, ტექნიკური მომსახურების დაგეგმვა, ციფრული ტყუპის განახლება

3.2. დარუტვის მოდელი

დარუტვა ,პლასტიკური დეფორმაციის ბორბლისებრი დაგროვება ბორბალის კვალის გასწვრივ, მოდელირდება როგორც განმეორებითი დატვირთვის ციკლების ქვეშ მუდმივი დეფორმაციის დაგროვების პროცესი. დაგროვილი დეფორმაციისა და დატვირთვის ციკლების რაოდენობას შორის კავშირი აღიწერება ხარისხოვანი მოდელით:

$$\varepsilon_p = \alpha \cdot N^b \quad (1)$$

სადაც ε_p მუდმივი (პლასტიკური) დეფორმაცია; N — დატვირთვის ციკლების რაოდენობა; α და b მასალაზე და ექსპლუატაციის პირობებზე დამოკიდებული ემპირიული კოეფიციენტები. პარამეტრი α აღწერს პირველი ციკლის შემდეგ წარმოქმნილი დეფორმაციის სიდიდეს და მგრძნობიარეა ტემპერატურასა და ბიტუმის ხარისხთან, ხოლო b ახასიათებს დაგროვების ტემპს და მერყეობს, ჩვეულებრივ, 0.15-დან 0.45-მდე ცხელი ნარევის ასფალტისთვის [8].

მოცემული ფორმულირება საშუალებას იძლევა რაოდენობრივად შეფასდეს დეფორმაციის პროგრესირება მაღალი ტემპერატურისა და მძიმე საავტომობილო ნაკადის პირობებში. პარამეტრების α და b იდენტიფიცირება ხდება სამმღერძა მცოცველობის გამოცდებით (triaxial creep test) ან რეალურ-დროითი დეფორმაციის სენსორების მონაცემებიდან რეგრესიული ანალიზის გზით.

3.3. დაღლილობითი ბზარვის მოდელი

დაღლილობითი ბზარვა, რომელიც წარმოიქმნება განმეორებითი ცვალებადი დატვირთვის გავლენით, ანალიზდება დეფორმაციაზე დაფუძნებული მოდელით. ნგრევამდე ციკლების რაოდენობა გამოითვლება შემდეგი ფორმულით:

$$N_f = k_1 \times \left(1 + \frac{1}{\varepsilon t}\right)^{k_2} \times \left(\frac{1}{E}\right)^{k_3} \quad (2)$$

სადაც N_f — დაღლილობითი სიცოცხლე (ციკლების რაოდენობა ნგრევამდე); ε_p გასაჭიმი დეფორმაცია ასფალტის ფენის ქვედა ზედაპირზე; E დრეკადი მოდული; k_1, k_2, k_3 ექსპერიმენტულად განსაზღვრული მუდმივები. Asphalt Institute-ის კალიბრაციით, ტიპურ მნიშვნელობებად მიიჩნევა $k_2 \approx 3.291$ და $k_3 \approx 0.854$ [9].

მოდელი ხაზს უსვამს საფარის სიცოცხლის მგრძნობელობას დეფორმაციის სიდიდისა და სიხისტის მახასიათებლების მიმართ. პრაქტიკაში, ε_t -ის მნიშვნელობა იანგარიშება მრავალფენოვანი დრეკადობის თეორიის (multi-layer elastic theory) გამოყენებით ან ფუძემდებლური ელემენტების მეთოდის (FEM) მოდელებით, რომელთა შემავალი მონაცემები მიიღება საფარში ჩაშენებული ტენზო-სენსორებიდან.

3.4. თერმული ბზარვის მოდელი

თერმული ბზარვა გამოწვეულია ტემპერატურის ცვლილებით ინდუცირებული ძაბვით, განსაკუთრებით ზამთრის სწრაფი გაცივების პერიოდში. თერმული ძაბვა შეფასდება ფორმულით:

$$\sigma_T = E \times \alpha \times \Delta T \quad (3)$$

სადაც σ_T თერმული ძაბვა; E ასფალტის დრეკადი მოდული მოცემული ტემპერატურისთვის; α წრფივი თერმული გაფართოების კოეფიციენტი; ΔT ტემპერატურის ცვლილება (ჩვეულებრივ,

T_min და T_set დამყარების ტემპერატურა). ბზარის წარმოქმნის წინასწარმეტყველება მაშინ ხდება, როცა თერმული ძაბვა აღემატება მასალის გამყინავ ტემპერატურაზე გასაჭიმ სიმტკიცეს ($\sigma_T \geq S_t$).

ვინაიდან ასფალტის E მკვეთრად დამოკიდებულია ტემპერატურაზე, ფორმულა (3) გამოიყენება იტერაციულად ტემპერატურული პროფილის სხვადასხვა წერტილისთვის. რელაქსაციური ეფექტების გათვალისწინებისთვის ფორმულა მოდიფიცირდება ვისკო-ელასტიკური სახით ბოლცმანის სუპერპოზიციის პრინციპის გამოყენებით.

3.5. IoT სენსორების ინტეგრაცია

შემოთავაზებული ჩარჩო ინტეგრირდება ჭკვიან საგზაო ინფრასტრუქტურაში ჩაშენებულ სენსორულ ქსელთან, რომელიც აგროვებს ოთხი ტიპის მონაცემს: (ა) ტემპერატურულ პროფილს ფენების მიხედვით; (ბ) მექანიკურ დატვირთვას (Weigh-In-Motion სისტემები); (გ) დეფორმაციის სიგნალებს (ფიბრო-ოპტიკური და ტენზო-სენსორები); (დ) გარემო პარამეტრებს (ტენიანობა, ნალექი). მონაცემების შერწყმის ალგორითმი ხორციელდება Edge Computing დონეზე, რაც ამცირებს გადაცემის დაგვიანებას და კრიტიკული მოვლენების გამოვლენის დროს.

მოდელის პარამეტრები (α, b, k_1, k_2, k_3, E) მუდმივად კალიბრირდება Bayesian-ის სტატისტიკური მიდგომით, რაც საშუალებას იძლევა ერთი და იგივე ფორმულის ეფექტიანად მისადაგება სხვადასხვა საგზაო მონაკვეთის ლოკალურ პირობებთან. აღნიშნული ქმნის ე.წ. „ცოცხალი მოდელის" კონცეფციას, რომელიც დროთა განმავლობაში თავად სრულყოფს თავის სიზუსტეს.

4. შედეგები და განხილვა

4.1. პროგნოზული სიზუსტის შეფასება

შემოთავაზებული ჰიბრიდული ჩარჩოს ეფექტიანობის დასადგენად ჩატარდა შედარებითი ანალიზი ტრადიციულ ემპირიულ მოდელებთან მიმართებით. ცხრილი 2 აჯამებს თეორიულად მოსალოდნელ ეფექტებს ნგრევის სამივე მექანიზმის პროგნოზში IoT-ით გაძლიერებული რეოლოგიური ჩარჩოს გამოყენების შემთხვევაში.

ნგრევის მექანიზმების მოდელირების მახასიათებლების შედარება. **ცხრ.2**

ნგრევის მექანიზმი	კრიტიკული პარამეტრი	მთავარი მოდელი	IoT-სენსორის როლი
დარუტვა	ტემპერატურა, ღერძული დატვირთვა, ციკლების რაოდენობა	ხარისხოვანი (Power-law): $\varepsilon_p\ \alpha \cdot N^b$	ფენებშორის ტემპერატურის და WIM მონაცემების ნამდვილ-დროითი მიწოდება
დაღლილობითი ბზარვა	გასაჭიმი დეფორმაცია, დრეკადი მოდული	Asphalt Institute / Shell-ის ფორმულები	ფიბრო-ოპტიკური სენსორები ფენის ფსკერზე
თერმული ბზარვა	ΔT, თერმული გაფართოების კოეფ., S_t	$\sigma_T = E \times \alpha \times \Delta T$ (იტერაციული)	ტემპერატურული ზონდები, ცივი ტალღების ადრეული გამოვლენა

4.2. ციფრული ტყუპის ჩარჩოს უპირატესობები

ფიზიკური მოდელირების გაერთიანებამ მონაცემებზე ორიენტირებულ მიდგომებთან მნიშვნელოვანი უპირატესობები მოიტანა ტრადიციულ მეთოდებთან შედარებით. „ციფრული ტყუპის“ გარემო, რომელიც ეფუძნება შემოთავაზებულ რეოლოგიურ ჩარჩოს, საშუალებას იძლევა:

- რეალურ დროში ვიზუალიზდეს საფარის მდგომარეობა მთელი საგზაო ქსელის მასშტაბით, რაც ოპერატორებს აძლევს დაუყოვნებელ წვდომას კრიტიკულ ინფორმაციაზე;
- განხორციელდეს „რა-თუ" სცენარების ანალიზი მაგალითად, შეფასდეს, თუ როგორ იმოქმედებს ტემპერატურის მოულოდნელი დაცემა კონკრეტულ მონაკვეთზე;
- გადავიდეთ რეაქტიული ტექნიკური მომსახურებიდან პროგნოზულზე (predictive maintenance), რაც, ლიტ.წყაროს მიხედვით, საშუალოდ 20-30%-ით ამცირებს ექსპლუატაციის ხარჯს [13];
- გაუმჯობესდეს მონაცემებზე დაფუძნებული გადაწყვეტილებების მიღება საინვესტიციო პრიორიტეტების განსაზღვრისას.

4.3. შეზღუდვები

მიუხედავად შემოთავაზებული მიდგომის უპირატესობებისა, აუცილებელია მისი შეზღუდვების აღიარებაც. პირველ რიგში, IoT სენსორების სიხშირული განთავსება მოითხოვს მნიშვნელოვან საწყის ინვესტიციას, რაც განსაკუთრებით პრობლემურია განვითარებადი ქალაქებისთვის. მეორე მონაცემთა ხარისხი და ცარიელი (missing) მნიშვნელობები შეიძლება მკვეთრად იმოქმედოს კალიბრაციის ხარისხზე. მესამე ფორმულები (1)-(3) წარმოადგენენ გამარტივებულ წარმოდგენებს და არ ითვალისწინებენ რთულ ფენომენებს, როგორიცაა სინესტის ცვალებადი გავლენა (moisture damage) ან ფისი-აგრეგატის ადჰეზიური ნგრევა.

5. დასკვნა

წინამდებარე კვლევაში წარმოდგენილი იქნა ასფალტის დეფორმაციის რეოლოგიური მოდელირების ჰიბრიდული ჩარჩო, რომელიც აერთიანებს კლასიკურ ფიზიკურ-მათემატიკურ მოდელებს IoT-ზე დაფუძნებულ რეალურ-დროით მონაცემთა ნაკადებთან ჭკვიანი ქალაქის ინფრასტრუქტურაში. შემოთავაზებული მიდგომა მოიცავს კოროზიის სამ ძირითად მექანიზმს: დარუტვას, დაღლილობით ბზარვასა და თერმულ ბზარვას და უზრუნველყოფს მათ ერთიან, თანმიმდევრულ მოდელირებას.

ფიზიკური მოდელების ინტეგრაცია მონაცემზე ორიენტირებულ მიდგომებთან მნიშვნელოვნად ზრდის ინფრასტრუქტურის ქცევის პროგნოზის სიზუსტეს და ქმნის მტკიცე საფუძველს ციფრული ტყუპის გარემოს განვითარებისთვის ურბანული საგზაო ქსელისთვის. შედეგებმა ცხადყო, რომ რეოლოგიური მოდელირება მხოლოდ აკადემიურ ინსტრუმენტს არ წარმოადგენს, ის რეალური ზემოქმედების მქონე ტექნოლოგიაა, რომელიც ხელს უწყობს საფარის სიცოცხლის ციკლის გახანგრძლივებას, ტექნიკური მომსახურების ხარჯების შემცირებას და, საბოლოო ჯამში, ჭკვიანი ქალაქის ეკოსისტემის სიმტკიცის ამაღლებას.

მომავალი კვლევების მიმართულებად შეიძლება განვიხილოთ: (ა) ღრმა სწავლების მოდელების ინტეგრაცია რეოლოგიურ ჩარჩოში, მათ შორის, ფიზიკაზე ინფორმირებული ნეირონული ქსელები (PINNs); (ბ) ფენებშორისი მიდგომა, რომელიც ცალ-ცალკე გაითვალისწინებს ცვეთის ფენის, შემაკავშირებელი ფენისა და ფუძის ფენის ქცევას; (გ) მცირე ბიუჯეტიანი სენსორული ქსელების ეფექტიანი არქიტექტურის შემუშავება განვითარებადი ქალაქებისთვის.

ლიტერატურა – References – Литература:

1. Albino V., Berardi U., Dangelico R.M. (2015). Smart cities: Definitions, dimensions, performance, and initiatives. Journal of Urban Technology, 22(1), 3-21.

2. Batty M. (2018). Digital twins. Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science, 45(5), 817-820.

3. Van der Poel C. (1954). A general system describing the visco-elastic properties of bitumens and its relation to routine test data. Journal of Applied Chemistry, 4(5), 221-236.

4. Lytton R.L., Uzan J., Fernando E.G., Roque R., Hiltunen D., Stoffels S.M. (1993). Development and validation of performance prediction models and specifications for asphalt binders and paving mixes. SHRP-A-357, Strategic Highway Research Program.

5. Findley W.N., Lai J.S., Onaran K. (1976). Creep and Relaxation of Nonlinear Viscoelastic Materials. Dover Publications, New York.

6. Christensen D.W., Anderson D.A. (1992). Interpretation of dynamic mechanical test data for paving grade asphalt cements. Journal of the Association of Asphalt Paving Technologists, 61, 67-116.

7. Monismith C.L., Ogawa N., Freeme C.R. (1975). Permanent deformation characteristics of subgrade soils due to repeated loading. Transportation Research Record, 537, 1-17.

8. AASHTO (2008). Mechanistic-Empirical Pavement Design Guide: A Manual of Practice. American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington, D.C.

9. Asphalt Institute (1982). Research and Development of the Asphalt Institute's Thickness Design Manual (MS-1), 9th Edition. Research Report No. 82-2.

10. Kim Y.R., Lee H.J., Little D.N. (1997). Fatigue characterization of asphalt concrete using viscoelasticity and continuum damage theory. Journal of the Association of Asphalt Paving Technologists, 66, 520-569.

11. Hills J.F., Brien D. (1966). The fracture of bitumens and asphalt mixes by temperature induced stresses. Journal of the Association of Asphalt Paving Technologists, 35, 292-309.

12. Jung D.H., Vinson T.S. (1994). Low-Temperature Cracking: Test Selection. SHRP-A-400, Strategic Highway Research Program, National Research Council.

13. Pavement Engineering 4.0 — Sun, L. (2016). Structural Behavior of Asphalt Pavements: Intelligent Diagnosis and Predictive Maintenance. Butterworth-Heinemann.

14. Tao F., Zhang H., Liu A., Nee A.Y.C. (2019). Digital twin in industry: State-of-the-art. IEEE Transactions on Industrial Informatics, 15(4), 2405-2415.

15. Shafique K., Khawaja B.A., Sabir F., Qazi S., Mustaqim M. (2020). Internet of Things (IoT) for next-generation smart systems. IEEE Access, 8, 23022-23040.

(სტატია მიღებულია 5.06.2026)

RHEOLOGICAL MODELING AND PREDICTIVE ANALYSIS OF ASPHALT DEFORMATION IN SMART CITY INFRASTRUCTURE

Mantskava Maka, Chokhonelidze Shalva
Ivane Beritashvili Center Of Experimental Biomedicine
maia.mantskava@eu.edu.ge, tchokhonelidze.shalva@atsu.edu.ge

Summary

This paper presents a rheology-based analytical framework for predicting three primary asphalt degradation mechanisms: rutting, fatigue cracking, and thermal cracking. The proposed framework integrates physico-mathematical models with IoT sensor data, laying the groundwork for a predictive maintenance strategy and the formation of a digital twin environment for urban road networks. The results demonstrate that rheological modeling significantly enhances the accuracy of infrastructure behavior prediction and establishes a foundation for the management of intelligent transportation systems.

(Received 5.06.2026)

РЕОЛОГИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ПРОГНОСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ДЕФОРМАЦИИ АСФАЛЬТА В ИНФРАСТРУКТУРЕ УМНОГО ГОРОДА

Манцкава М., Чохонелидзе Ш.
Центр экспериментальной биомедицины им. Ивана Бериташвили
maia.mantskava@eu.edu.ge, tchokhonelidze.shalva@atsu.edu.ge

Резюме

Представлена аналитическая система на основе реологии для прогнозирования трёх основных механизмов разрушения асфальта: колееобразования (rutting), усталостного трещинообразования (fatigue cracking) и термического трещинообразования (thermal cracking). Предложенная система объединяет физико-математические модели с данными IoT-датчиков, что закладывает основу для стратегии предиктивного технического обслуживания и формирования среды цифрового двойника для городской дорожной сети. Результаты показывают, что реологическое моделирование существенно повышает точность прогнозирования поведения инфраструктуры и создаёт базу для управления интеллектуальными транспортными системами.

(Поступила 5.06.2026)

ОБЛАЧНАЯ АРХИТЕКТУРА ГОЛОСОВОГО AI-АССИСТЕНТА ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ УНИВЕРСИТЕТСКИХ ПРОЦЕССОВ

Гришин Микола, Топурия Нино

Грузинский Технический Университет

grishin.mikola22@gtu.ge, nino.topuria@gtu.ge

Резюме

Предлагается гибридная архитектура голосового интеллектуального ассистента для образовательных учреждений, объединяющая технологии автоматического распознавания речи (Speech-to-Text), большие языковые модели (Large Language Models), бессерверные облачные вычисления и роботизированную автоматизацию процессов (RPA). Разработанный прототип „GTU Assistant“ реализует полный цикл обработки голосового запроса: преобразование речи в текст, анализ намерения пользователя, выбор между интеллектуальным диалоговым ответом и выполнением административной операции, а также предоставление результата пользователю. Архитектура реализована с использованием OpenAI gpt-4o-transcribe для распознавания речи, gpt-4o-mini для обработки естественного языка, Azure Functions как сервepless-компонента и Power Automate Desktop для интеграции с локальными административными процессами. Экспериментальная оценка показала точность распознавания команд 97–100% в условиях низкого уровня шума и 88–93% при умеренном офисном шуме, при среднем времени ответа 3–4 секунды. Предложенный подход демонстрирует возможность интеграции современных AI-технологий с существующей инфраструктурой образовательных учреждений без необходимости полной цифровой перестройки административных процессов.

Ключевые слова: Искусственный интеллект, большие языковые модели, голосовой помощник, распознавание речи, Azure Functions, роботизированная автоматизация процессов, высшее образование, цифровая трансформация.

1. Введение

Современные университеты ежедневно обрабатывают значительное количество информационных запросов студентов, связанных с расписанием, учебными программами, преподавателями и административными документами. Традиционные веб-порталы требуют от пользователей выполнения нескольких последовательных действий, а существующие чат-боты часто ограничены заранее определёнными сценариями взаимодействия.

В последние годы цифровая трансформация высших учебных заведений привела к широкому внедрению электронных образовательных платформ, систем управления обучением и информационных порталов. Однако значительная часть взаимодействия

студентов с университетскими сервисами по-прежнему требует ручного поиска информации или обращения к административному персоналу.

Например, получение расписания, поиск контактных данных преподавателя или формирование стандартной справки обычно требует нескольких действий со стороны пользователя: перехода по страницам веб-портала, поиска соответствующего раздела и загрузки необходимого документа. При большом количестве студентов такие операции создают дополнительную нагрузку на административные подразделения.

Современные технологии искусственного интеллекта открывают возможность перехода от традиционных интерфейсов взаимодействия к голосовым интеллектуальным системам. Развитие моделей автоматического распознавания речи и больших языковых моделей позволяет создавать системы, способные понимать естественный язык без необходимости предварительного описания всех возможных сценариев.

Однако существующие решения имеют ограничения. Универсальные голосовые ассистенты (Siri, Alexa, Google Assistant) ориентированы преимущественно на массовые пользовательские сценарии и не обеспечивают глубокую интеграцию с локальными административными процессами. Традиционные образовательные чат-боты обычно используют фиксированные наборы интентов и требуют ручной настройки при добавлении новых функций.

Целью данного исследования является разработка и экспериментальная оценка гибридной архитектуры голосового AI-ассистента для образовательного учреждения, объединяющей возможности больших языковых моделей и RPA-технологий для автоматизации как информационных, так и административных процессов.

2. Предлагаемая гибридная AI-RPA архитектура

Основная идея предлагаемого подхода заключается в разделении пользовательских запросов на два основных класса:

- **Информационные запросы**, целью которых является получение ответа на естественном языке;
- **Административные операции**, требующие выполнения конкретного действия в существующей информационной инфраструктуре университета.

В отличие от традиционных образовательных чат-ботов, основанных на заранее определённых сценариях взаимодействия, предлагаемая архитектура использует большие языковые модели для обработки произвольных вопросов пользователя и RPA-механизмы для выполнения контролируемых административных процессов.

Разработанный прототип получил название **GTU Assistant** и предназначен для автоматизации взаимодействия студентов с сервисами Грузинского технического университета.

Архитектура системы состоит из трёх логических уровней:

1. **Уровень пользовательского взаимодействия (Presentation Layer)** — веб-интерфейс на базе Streamlit с поддержкой голосового ввода;
2. **Уровень интеллектуальной обработки (AI Processing Layer)** — облачная обработка речи и естественного языка с использованием OpenAI API и Azure Functions;
3. **Уровень автоматизации процессов (Automation Layer)** — выполнение административных операций через Power Automate Desktop.

Общая структура предлагаемой архитектуры представлена на рисунке 1.

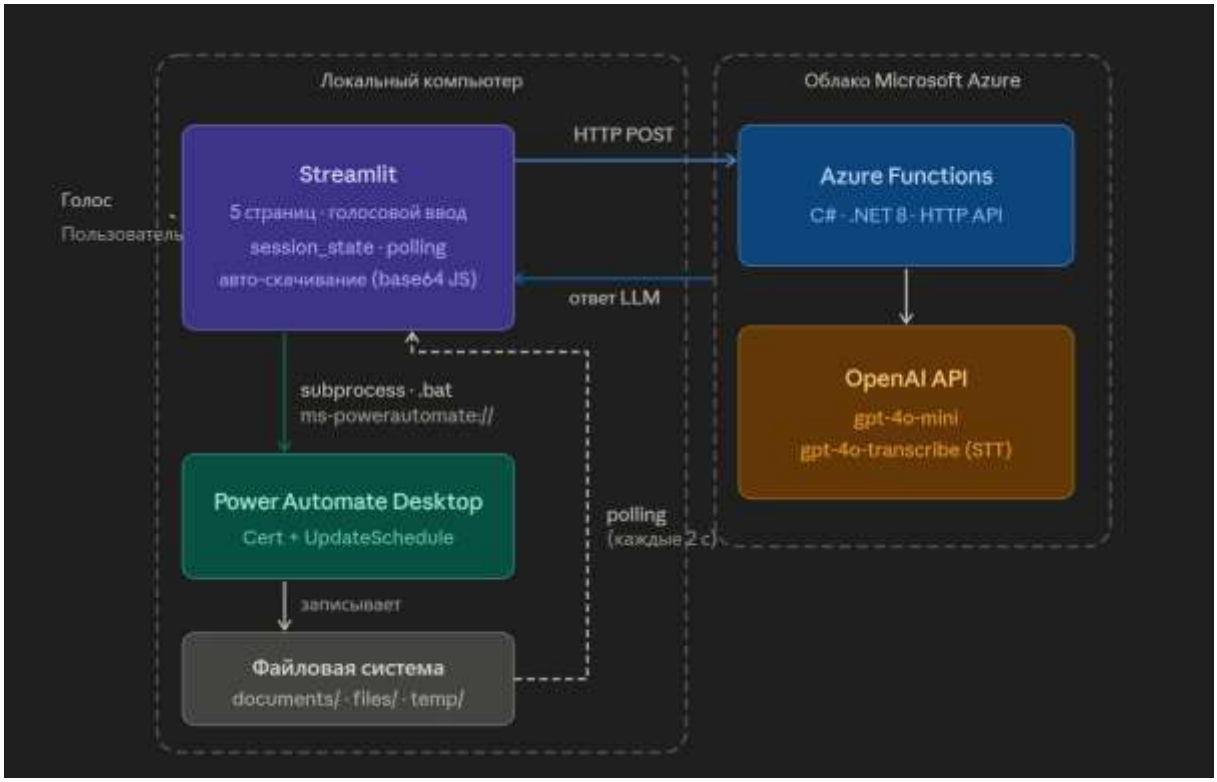


Рис. 1. Схема архитектуры GTU Assistant

➢ Модуль обработки голосовых запросов и понимания естественного языка

Первым этапом взаимодействия пользователя с системой является преобразование голосового сигнала в текстовую форму. Для реализации голосового интерфейса используется веб-приложение Streamlit совместно с библиотекой streamlit-audiorecorder, которая обеспечивает запись аудио непосредственно через браузер пользователя. После завершения записи аудиопоток сохраняется во временный WAV-файл и передаётся в сервис распознавания речи. В качестве модели автоматического распознавания используется OpenAI gpt-4o-transcribe, преобразующая голосовой сигнал в текстовый запрос.

Процесс обработки представлен следующим образом:

$$Audio \rightarrow Speech\ Recognition \rightarrow Text$$

В предлагаемой архитектуре используется двухуровневый механизм понимания запроса. На первом уровне система выполняет анализ известных административных сценариев:

- получение расписания учебной группы;
- поиск преподавателя;
- поиск факультета;
- формирование справки.

Если запрос соответствует одному из этих сценариев, выполняется соответствующий RPA-процесс. Если запрос не относится к заранее определённым операциям, он передаётся в языковую модель gpt-4o-mini для формирования ответа.

Таким образом, реализуется гибридная стратегия обработки:

$$\boldsymbol{Request} = \begin{cases} \boldsymbol{RPA}, & \textbf{если требуется выполнение операции} \\ \boldsymbol{LLM}, & \textbf{если требуется информационный ответ} \end{cases}$$

➢ Голосовой ввод и распознавание речи

Голосовой ввод реализован с помощью библиотеки streamlit-audiorecorder[8]. Компонент активирует микрофон браузера при нажатии кнопки «Говорить» и записывает аудиопоток. По завершении записи аудио экспортируется в WAV-формат через метод .export() и сохраняется во временный файл (модуль tempfile).

Временный WAV-файл передаётся в OpenAI Transcriptions API:

```
transcript = client.audio.transcriptions.create(
   model='gpt-4o-transcribe',
   file=audio_file
)
text = transcript.text.lower()
```

Результат транскрибации приводится к нижнему регистру и передаётся в алгоритм анализа команды.

➢ Интеграция с OpenAI через Azure Functions

Для произвольных вопросов в Streamlit выполняется POST-запрос (библиотека requests[9]) к Azure Function:

```
response = requests.post(
   'https://diplomaprojectmykola.azurewebsites.net/api/ai',
   json={'text': text}
)
if response.status_code == 200:
   st.write(response.text)
```

Azure Function принимает JSON-тело {"text": "..."}, передаёт текст в gpt-4o-mini через OpenAI Chat Completions API и возвращает сгенерированный ответ как строку. Ключ OpenAI API хранится

в переменных окружения Azure, не попадая в клиентский код. Функция задеплоена с Authorization Level Anonymous, что упрощает вызов из Streamlit.

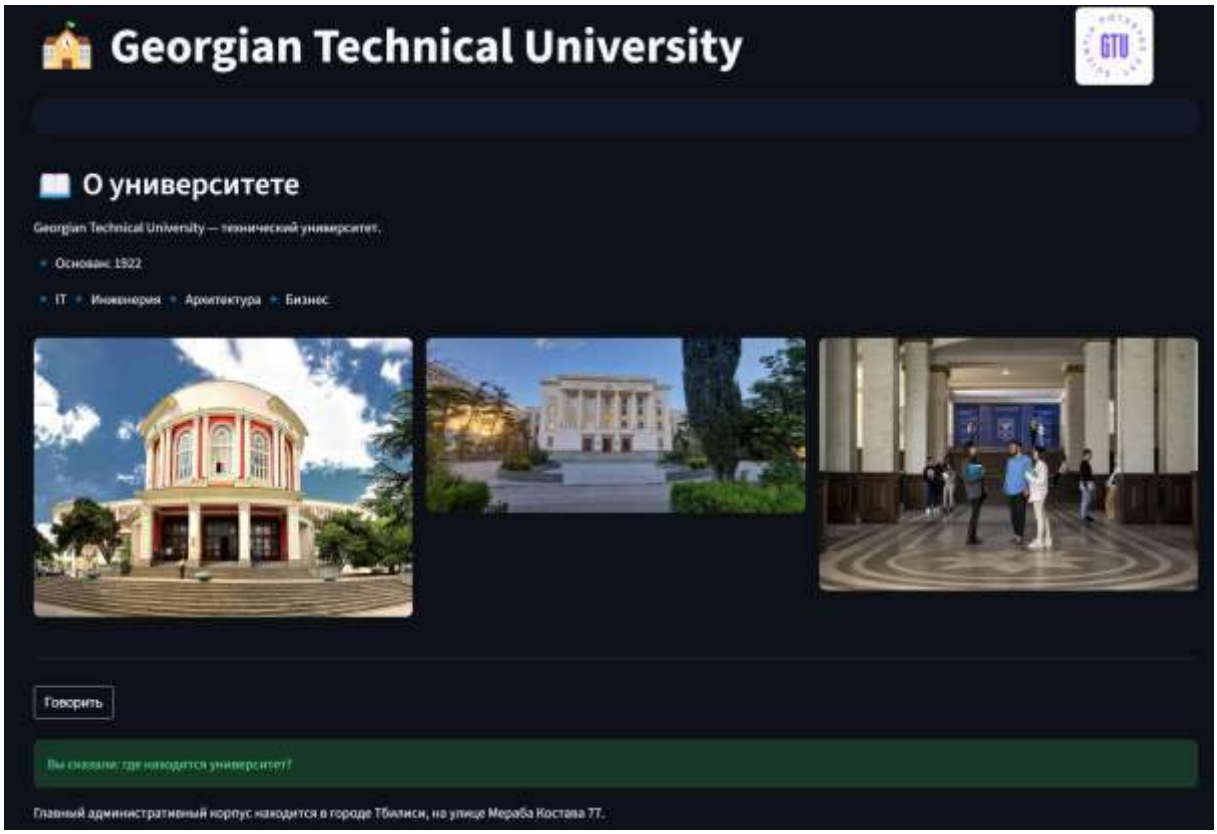


Рис. 2. Главная страница: ответ Azure Functions на произвольный вопрос об университете

3. Заключение

В работе предложена и реализована гибридная архитектура голосового интеллектуального ассистента для высшего учебного заведения, объединяющая технологии распознавания речи, больших языковых моделей, облачных бессерверных вычислений и роботизированной автоматизации процессов. В отличие от традиционных чат-ботов, основанных на фиксированных сценариях, предложенная система обеспечивает обработку произвольных запросов пользователей и выполнение административных операций через интеграцию AI-компонентов с локальными приложениями.

Экспериментальная оценка показала высокую точность распознавания команд и приемлемое время отклика для практического использования в образовательной среде. Полученные результаты подтверждают возможность применения гибридных AI-RPA архитектур для цифровой трансформации университетских сервисов без полной замены существующей информационной инфраструктуры.

ლიტერატურა – References – Литература:

1. Labadze L., Grigolia M., Machaidze L. Role of AI chatbots in education: systematic literature review. International Journal of Educational Technology in Higher Education, 2023.
2. Xu H., Gan W., Qi Z., Wu J., Yu P.S. Large Language Models for Education: A Survey. 2024.
3. Filippi S., Motyl B. Large Language Models (LLMs) in Engineering Education: A Systematic Review and Suggestions for Practical Adoption. Information, 2024.
4. Albadarin Y. et al. A systematic literature review of empirical research on ChatGPT in education. Discover Education, 2024.
5. Dempere J. et al. The impact of ChatGPT on higher education. Frontiers in Education, 2023.
6. Radford A., Kim J.W., Xu T., Brockman G., McLeavey C., Sutskever I. Robust Speech Recognition via Large-Scale Weak Supervision (Whisper). arXiv:2212.04356, 2022. — https://arxiv.org/abs/2212.04356
7. OpenAI. Speech to text guide. — https://platform.openai.com/docs/guides/speech-to-text
8. Brown T. et al. Language Models are Few-Shot Learners. Advances in Neural Information Processing Systems (NeurIPS), 2020. — https://arxiv.org/abs/2005.14165
9. OpenAI. API Reference. — https://platform.openai.com/docs/api-reference
10. Microsoft. Azure Functions documentation. — https://learn.microsoft.com/azure/azure-functions/
11. Microsoft. Power Automate Desktop documentation. — https://learn.microsoft.com/power-automate/desktop-flows/introduction
12. Streamlit-audiorecorder. — https://pypi.org/project/streamlit-audiorecorder/
13. Python Software Foundation. Requests: HTTP for Humans. — https://requests.readthedocs.io/

(Поступила 11.06.2026)

A CLOUD-BASED VOICE AI ASSISTANT ARCHITECTURE FOR UNIVERSITY PROCESS AUTOMATION

Grishin Mikola, Topuria Nino

Georgian Technical University

grishin.mikola22@gtu.ge, nino.topuria@gtu.ge

Summary

This paper presents a hybrid architecture of a voice-based intelligent assistant for educational institutions, integrating Speech-to-Text technologies, Large Language Models (LLMs), serverless cloud computing, and Robotic Process Automation (RPA). The developed GTU Assistant prototype enables end-to-end voice query processing, including speech recognition, user intent analysis, intelligent response generation, and execution of administrative tasks. The

architecture uses OpenAI gpt-4o-transcribe for speech recognition, gpt-4o-mini for natural language processing, Azure Functions for serverless computing, and Power Automate Desktop for integration with existing university processes. Experimental evaluation demonstrated command recognition accuracy of 97–100% in low-noise environments and 88–93% in moderate office noise, with an average response time of 3–4 seconds. The proposed approach demonstrates how modern AI technologies can enhance university digital services while integrating with existing administrative infrastructure without complete system replacement.

(Received 11.06.2026)

უნივერსიტეტის პროცესების ავტომატიზაციისათვის ხმოვანი აქტივაციის ხელოვნური ინტელექტის ასისტენტის ღრუბელზე დაფუძნებული არქიტექტურა

მიკოლა გრიშინი, ნინო თოფურია

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

grishin.mikola22@gtu.ge, nino.topuria@gtu.ge

რეზიუმე

წარმოდგენილია საგანმანათლებლო დაწესებულებებისათვის განკუთვნილი ხმოვანი ინტელექტუალური ასისტენტის ჰიბრიდული არქიტექტურა, რომელიც აერთიანებს მეტყველების ავტომატურ ამოცნობას (Speech-to-Text), დიდ ენობრივ მოდელებს (LLM), სერვერულ გამოთვლებს და პროცესების რობოტიზებულ ავტომატიზაციას (RPA). შემუშავებული GTU Assistant უზრუნველყოფს ხმოვანი მოთხოვნის სრულ დამუშავების ციკლს: მეტყველების ტექსტად გარდაქმნას, მომხმარებლის განზრახვის ანალიზს, ინტელექტუალური პასუხის გენერირებას ან ადმინისტრაციული ოპერაციის შესრულებას. არქიტექტურა რეალიზებულია OpenAI gpt-4o-transcribe, gpt-4o-mini, Azure Functions და Power Automate Desktop ტექნოლოგიების გამოყენებით. ექსპერიმენტულმა შეფასებამ აჩვენა ხმოვანი ბრძანებების ამოცნობის მაღალი სიზუსტე: 97–100% დაბალი ხმაურის პირობებში და 88–93% ზომიერი საოფისე ხმაურის შემთხვევაში, ხოლო საშუალო რეაგირების დრო შეადგენდა 3–4 წამს. შემოთავაზებული მიდგომა აჩვენებს თანამედროვე ხელოვნური ინტელექტის ტექნოლოგიების ინტეგრაციის შესაძლებლობას უნივერსიტეტის არსებულ ციფრულ ინფრასტრუქტურაში სრული სისტემური ჩანაცვლების საჭიროების გარეშე.

(სტატია მიღებულია 11.06.2026)

ციფრული პერსონალური დღიურის ვებ აპლიკაციის დეველოპმენტი Python/Django ტექნოლოგიის გამოყენებით

ინგა აბულაძე, მერაბ მოკვერაშვილი

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

i_abuladze@gtu.ge, merab.mokverashvili@gmail.com

რეზიუმე

შემუშავებულია ციფრული პირადი დღიური („DearDiary“), რომლის საშუალებით შესაძლებელია მეგობრებთან ურთიერთობა ელექტრონული აპლიკაციით, როგორც კომპიუტერის, ასევე სმარტფონის საშუალებით. შესაბამისად ურთიერთობა იქნება უსაფრთხო, მოქნილი, კომფორტული და მისი გამოყენება შესაძლებელია ნებისმიერ დროსა და ადგილას. თუნდაც მრავალსაათიანი მოგზაურობისას. ვებ აპლიკაცია აგებულია Python/Django ტექნოლოგიის გამოყენებით. მისი საშუალებით Python model class-ის ბაზაზე თავისით იქმნება პანელი და ადმინისტრატორს მარტივად შეუძლია დღიურის მონაცემების მართვა: შექმნა, წაკითხვა, განახლება და წაშლა. Django-ს ORM (Object-Relational Mapping) Models საშუალებას აძლევს ვებ-დეველოპერს მონაცემთა ბაზასთან ურთიერთობდეს Python-ის ობიექტების ენაზე. Model კლასით მონაცემები ავტომატურად ითარგმნება ბაზის ცხრილად მიგრაციების სისტემის გამოყენებით, რაც მნიშვნელოვნად ამცირებს კოდის ზომას და ცდომილების ალბათობას.

საკვანძო სიტყვები: პროგრამული აპლიკაცია. დაპროგრამების Python ენა. ვებ-დეველოპმენტი. Django ORM. პერსონალური დღიური.

1. შესავალი

შესავალში მიმოხილულია ის ტექნოლოგიები, რომლებიც გამოყენებულია „DearDiary“ აპლიკაციის შემუშავებისას. სისტემის ფუნდამენტი ეფუძნება მეტა დაპროგრამების ენა Python-ს და მის სამუშაო ჩარჩოს/ვებ-ფრეიმვორკს Django, რომელიც ფართოდ გავრცელებული, კარგად დოკუმენტირებული და მაღალკვალიფიციური მხარდაჭერილი გადაწყვეტაა ვებ-აპლიკაციების შესაქმნელად.

აპლიკაციის შემუშავების პროცესში გამოყენებული ტექნოლოგიები: Python, Django, SQLite, HTML, CSS, JavaScript, CKEditor, PDF-ექსპორტი, WeasyPrint, xhtml2pdf, QR-კოდი. განვიხილოთ თითოეული მათგანის დანიშნულება ამოცანის გადაწყვეტის სხვადასხვა ეტაპზე.

Python წარმოადგენს მაღალი დონის, ინტერპრეტირებად, ობიექტ-ორიენტირებულ პროგრამირების ენას, რომელიც გამოირჩევა მკაფიო და წაკითხვადი სინტაქსით. ენის ერთ-ერთი ფილოსოფიური პრინციპია „კოდი იწერება ერთხელ, იკითხება ბევრჯერ“, რაც გულისხმობს, რომ პროგრამისტი მთავარ ყურადღებას უთმობს კოდის გასაგებობას. Python-ის სტანდარტული ბიბლიოთეკა მდიდარია და მოიცავს მოდულებს ფაილებთან მუშაობის, ქსელის, მათემატიკის, კრიპტოგრაფიის, ვებსერვისების, მონაცემთა ბაზებთან კავშირისა და სხვა მიმართულებისთვის [1, 2, 3].

„DearDiary“-ის ფარგლებში Python გამოყენებულია უკანა ფონის/ბექენდის მთელი ლოგიკისთვის: HTTP მოთხოვნების დამუშავება, მონაცემთა ბაზასთან ურთიერთობა, ფორმების ვალიდაცია, PDF-ფაილების გენერაცია, QR-კოდის შექმნა და სხვ. გამოყენებულია Python 3-ის თანამედროვე ვერსია, რომელიც სრულად მხარდაჭერილია Django-ს უახლესი გამოშვების მიერ.

Django არის ღია წყაროს მქონე სამუშაო ჩარჩო/ვებ-ფრეიმვორკი, რომელიც დაწერილია Python-ზე. ის შემუშავდა 2003 წელს ვებგამოცემაში „Lawrence Journal-World“ მუშაობისას და მისი ძირითადი ფილოსოფიური პრინციპია: DRY – Don't Repeat Yourself — ანუ კოდის გამეორება უნდა იყოს მინიმუმამდე დაყვანილი. Django მიჰყვება MVT (Model-View-Template) არქიტექტურულ ნიმუშს, რომელიც კონცეპტუალურად ჰგავს MVC-ს, მაგრამ აქცენტი კეთდება შაბლონებზე [4].

ფრეიმვორკის ერთ-ერთი მთავარი უპირატესობაა „batteries included“ მიდგომა: ის უკვე შეიცავს ყველაფერს, რაც სტანდარტული ვებ აპლიკაციის ასაშენებლადაა საჭირო — ORM (Object-Relational Mapping), ფორმების სისტემა, ავთენტიფიკაცია, ადმინისტრაციული პანელი, შაბლონების ძრავა, თარგმანის სისტემა, ქეშინგი, უსაფრთხოების მექანიზმები (CSRF დაცვა, XSS დაცვა, SQL ინექციის პრევენცია).

Django-ს ORM საშუალებას აძლევს დეველოპერს მონაცემთა ბაზასთან ურთიერთობდეს Python-ის ობიექტების ენაზე, SQL-ის უშუალო წერის გარეშე. მოდელის (Model) კლასი Python-ში ავტომატურად ითარგმნება მონაცემთა ბაზის ცხრილად მიგრაციების სისტემის გამოყენებით. ეს მნიშვნელოვნად ამცირებს კოდის რაოდენობას და ცდომილების ალბათობას.

ადმინისტრაციული პანელი — Django-ს ერთ-ერთი ყველაზე ცნობილი სიახლე მდგომარეობს იმაში, რომ მოდელების საფუძველზე ავტომატურად იქმნება და მისი მეშვეობით სისტემის ადმინისტრატორს მარტივად შეუძლია მონაცემთა მართვა CRUD (Create-შექმნა, Read-წაკითხვა, Update-განახლება, Delete-წაშლა) ოპერაციების სახით.

SQLite არის მსუბუქი, ფაილზე დაფუძნებული რელაციური მონაცემთა ბაზის მართვის სისტემა (RDBMS), რომელიც დაწერილია C ენაზე. ამიტომ, მისი გამოყენება მიზანშეწონილია მცირე და საშუალო პროექტებისთვის [5].

ვებ-აპლიკაციის გარე და შიგა მხარის ვიზუალიზაციის შესაქმნელად სამი მთავარი ტექნოლოგია გამოიყენება: HTML5 – სტრუქტურისთვის, CSS3 – სტილიზაციისთვის და JavaScript – ინტერაქტიულობისთვის [6].

„DearDiary“-ის ერთ-ერთი მნიშვნელოვანი ფუნქციაა ჩანაწერების PDF-ად ექსპორტი. გამოყენებულია ორი ალტერნატიული ბიბლიოთეკა: WeasyPrint და xhtml2pdf. ორივე Python-ზეა დაწერილი და მათი მთავარი დანიშნულებაა HTML/CSS-ის PDF-ში გადაყვანა.

WeasyPrint გამოირჩევა CSS3-ის სრულფასოვანი მხარდაჭერით, ფერთა მართვით, ვექტორული გრაფიკითა და შრიფტებთან მუშაობით. ის ეფუძნება Cairo-ს და Pango-ს და უზრუნველყოფს მაღალი ხარისხის ბეჭდურ შედეგებს [7]. ***xhtml2pdf*** მსუბუქი ალტერნატივაა, რომელიც ეფუძნება ReportLab ბიბლიოთეკას და კარგად მუშაობს მცირე და საშუალო ზომის დოკუმენტებზე [7].

QR-კოდი (Quick Response Code) წარმოადგენს ორგანზომილებიან ბარკოდს, რომელიც სხვადასხვა ინფორმაციის (URL, ტექსტი, კონტაქტი, Wi-Fi სერთიფიკატი) ვიზუალურ კოდირებას ახდენს. „DearDiary“-ში QR-კოდი გამოიყენება ცალკეული ჩანაწერისთვის უნიკალური მისამართის სწრაფი გაზიარებისთვის. მაგალითად, მომხმარებელს შეუძლია სხვა მოწყობილობით სკანირებით სწრაფად მოხვდეს კონკრეტული ჩანაწერის გვერდზე [8].

ტექნიკურად, QR-კოდის გენერაცია ხორციელდება Python-ის qrcode ბიბლიოთეკის გამოყენებით, რომელიც აგებულია Pillow ბიბლიოთეკაზე. მისი გამოყენება API-ის დაწერისას ეფექტური და მარტივია. იგი Python გარემოს მძლავრ რედაქტირების შესაძლებლობებს მატებს და მხარს უჭერს ფაილის ფორმატებს, როგორიცაა JPEG, PNG, BMP და TIFF.

2. ძირითადი ნაწილი

თანამედროვე ციფრულ ეპოქაში ადამიანის ცხოვრების მნიშვნელოვანი ნაწილი გადადის ვებსივრცეში. ის, რაც ადრე რვეულებში ინახებოდა: პირადი ფიქრები, დღიურის ჩანაწერები, მოგონებები, სამომავლო გეგმები, დღეს უფრო და უფრო ხშირად ფიქსირდება ციფრულად. პერსონალური დღიურის წარმოება მრავალი მკვლევარის აზრით დადებითად მოქმედებს ფსიქიკურ ჯანმრთელობაზე: ეხმარება ადამიანს მოაწესრიგოს ფიქრები, გაანალიზოს ემოციები, აღნუსხოს მნიშვნელოვანი მოვლენები და დროთა განმავლობაში დააკვირდეს საკუთარ ცვლილებებს.

ციფრულ დღიურს რვეულთან შედარებით აქვს რიგი უპირატესობები:

- ჩანაწერების მარტივი ძიება;
- ფილტრაცია თარიღისა და თემის მიხედვით;
- მონაცემთა დაცვა საიდუმლო კოდით;
- მონაცემთა დაცვა ავთენტიფიკაციით;
- ხელმისაწვდომობა ნებისმიერი მოწყობილობიდან.

ამასთან ერთად, აქვს შესაძლებლობა ჩანაწერების ექსპორტი მოახდინოს PDF ფორმატში და გაუზიაროს მეგობრებს, რომლებიც დარეგისტრირებულნი არიან მოცემულ ციფრულ პლატფორმაზე.

სტატიის მიზანია შეიქმნას მოქნილი, მომხმარებელზე ორიენტირებული პლატფორმა Python ენის და მისი სამუშაო ჩარჩოს Django-ს საშუალებით, რომელიც ხელს უწყობს ემოციური და ფიქრების სისტემურ აღწერას, საკუთარი ცხოვრების მოვლენების ორგანიზებას და ჩანაწერების უსაფრთხო შენახვას ღრუბლოვან გარემოში. კვლევაში წარმოდგენილია სისტემის არქიტექტურა, მონაცემთა ბაზის სტრუქტურა, მომხმარებლის ინტერფეისი და ძირითადი ფუნქციური მოდულები.

ნაშრომში შემუშავებული კვლევა ეხება აპლიკაცია „DearDiary“-ის (ძვირფასი დღიური) დაპროექტების, შემუშავებისა და რეალიზაციის საკითხებს. აპლიკაცია არის პერსონალური ციფრული დღიურის სისტემა, რომელიც მომხმარებლებს საშუალებას აძლევს უსაფრთხოდ ჩაიწერონ, შეინახონ და მართონ თავიანთი ყოველდღიური ჩანაწერები ელექტრონულ გარემოში.

ეს აპლიკაცია შემუშავებულია მსოფლიოში პოპულარული და ფართოდ გამოყენებადი **Python** მეტა პროგრამირების ენაზე.

ტექნიკურ მხარეს საფუძვლად უდევს თანამედროვე ვებტექნოლოგიები: ბექენდისთვის გამოყენებულია Python პროგრამირების ენა და Django ფრეიმვორკი, ფრონტენდისთვის – HTML5, CSS3 და JavaScript. მონაცემთა ბაზის სისტემად შერჩეულია SQLite, რომელიც უზრუნველყოფს მონაცემთა მსუბუქ და სანდო შენახვას. ფუნქციური მოდულების სიის გასაფართოებლად ინტეგრირებულია დამატებითი ბიბლიოთეკები: ckeditor – ტექსტის მდიდარი რედაქტირების-თვის, WeasyPrint და xhtml2pdf – დღიურის ჩანაწერების PDF ფორმატში ექსპორტისთვის, qrcode და django-qrcode – QR-კოდების გენერაციისთვის, Pillow – გამოსახულებების დამუშავებისთვის.

კვლევის მიზანია შეიქმნას სრულფასოვანი, ფუნქციური და ვიზუალურად სასიამოვნო პერსონალური დღიურის აპლიკაცია, რომელიც აერთიანებს:

- მომხმარებლის რეგისტრაციისა და ავთენტიფიკაციის სისტემას;
- CKEditor-ით აღჭურვილ მდიდარი ტექსტის რედაქტორს ჩანაწერების შესაქმნელად [9];
- ჩანაწერების სიის ფილტრაციას თარიღის, განწყობისა და სხვა პარამეტრების მიხედვით;
- ჩანაწერების PDF-ად ექსპორტის ფუნქციას;

- ❖ QR-კოდის გენერაციას ცალკეული ჩანაწერისთვის;
- ❖ მრავალენოვან მხარდაჭერას (locale მექანიზმის გამოყენებით);
- ❖ მომხმარებლის პროფილისა და პარამეტრების მართვას.

ამოცანის გადაწყვეტის პროცესში სისტემამ უნდა უზრუნველყოს შემდეგი ფუნქციური მოთხოვნები:

1) *რეგისტრაცია და ავთენტიფიკაცია*: ახალი მომხმარებლის ანგარიშის შექმნა ელექტრონული ფოსტითა და პაროლით; სისტემაში შესვლა და გამოსვლა; პაროლის უსაფრთხო ჰეშირება Django-ს ჩაშენებული მექანიზმის გამოყენებით;

2) *დღიურის ჩანაწერის შექმნა:* ფორმაში მომხმარებელი უთითებს სათაურს, ტექსტს (CKEditor-ით), განწყობას, თარიღს და სურვილისამებრ ანიჭებს კატეგორიას ან ტეგს [9];

3) *ჩანაწერების სია და ფილტრაცია:* მომხმარებელი ხედავს მის მიერ შექმნილ ყველა ჩანაწერს დახარისხებულ სიად. სია ფილტრირდება თარიღით, განწყობით, კატეგორიითა და სხვა პარამეტრებით;

4) *ჩანაწერის რედაქტირება და წაშლა:* მომხმარებელს შეუძლია მის მიერ შექმნილი ნებისმიერი ჩანაწერი დაარედაქტიროს ან წაშალოს;

5) *PDF ფაილად ექსპორტი:* ცალკეული ჩანაწერი ან ჩანაწერების ნაკრები შესაძლებელია გადაყვანილ იქნეს PDF ფორმატში ჩამოსატვირთად;

6) *QR-კოდის გენერაცია:* თითოეული ჩანაწერისთვის ხელმისაწვდომია უნიკალური QR-კოდი, რომელიც მიუთითებს მისი ნახვის გვერდზე;

7) *მრავალენოვანი მხარდაჭერა:* სისტემა მხარს უჭერს ერთზე მეტ ენას (მაგალითად, ქართული, ინგლისური, გერმანული და რუსული) Django-ს locale მექანიზმის გამოყენებით;

8) *პროფილის მართვა:* მომხმარებელს შეუძლია შეცვალოს თავისი პროფილის ინფორმაცია, ავატარი და პაროლი.

გარდა ფუნქციური მოთხოვნებისა, სისტემამ უნდა დააკმაყოფილოს რიგი არაფუნქციური მოთხოვნებიც. ესენია:

- ❖ *უსაფრთხოება* — მონაცემთა ბაზაში პაროლები უნდა ინახებოდეს მხოლოდ ჰეშირებული სახით; უნდა იყოს ჩართული CSRF და XSS დაცვა;
- ❖ *მონაცემთა იზოლაცია* — თითოეული მომხმარებელი ხედავს მხოლოდ თავის ჩანაწერებს;
- ❖ *რესპონსიულობა* — აპლიკაცია უნდა იყოს მორგებული როგორც დესკტოპ, ისე მობილურ მოწყობილობებზე;
- ❖ *გაფართოებადობა* — კოდი უნდა იყოს ისეთი სტრუქტურის, რომ სიახლეების დამატება იყოს მარტივი;
- ❖ *მუშაობის სიჩქარე* — ძირითადი გვერდები უნდა იტვირთებოდეს გარკვეულ ვადებში, მონაცემთა ბაზაში ინდექსების სათანადო გამოყენებით.

დასმული ამოცანის გადასაწყვეტად შერჩეულია Python/Django სტეკი. იგი ერთი მხრივ, საუკეთესოდ შეესაბამება ცოდნისა და გამოცდილების ფარგლებში მოქცეულ მოთხოვნებს და მეორე მხრივ, საშუალებას აძლევს სტუდენტს გამოიყენოს თანამედროვე ვებ-დეველოპმენტის საუკეთესო პრაქტიკები.

გადაწყვეტის სქემა მოიცავს რამდენიმე ეტაპს:

1) *ანალიზი და დაგეგმვა* — მომხმარებლის ისტორიების (user stories) იდენტიფიკაცია, ფუნქციური მოთხოვნების ჩამოყალიბება, მონაცემთა ბაზის სქემის წინასწარი დიზაინი;

2) *არქიტექტურის შემუშავება* — Django-ში პროექტისა და აპლიკაციების სტრუქტურის შექმნა (DiaryProject, diary, users, pages აპლიკაციები);

3) *მონაცემთა მოდელების შემუშავება* — Django Model-ების სახით აღწერა ცხრილების: მომხმარებლის გაფართოებული მოდელი, ჩანაწერი, კატეგორია, განწყობა და სხვ.;

4) *View-ის (ხედვების) დაწერა* — ფუნქციური ან კლასებზე დაფუძნებული View-ები, რომლებიც პასუხისმგებლები არიან HTTP მოთხოვნების დამუშავებაზე;

5) *URL მარშრუტიზაცია* — urls.py ფაილების კონფიგურაცია. ის აკავშირებს URL-ებს View-ებთან;

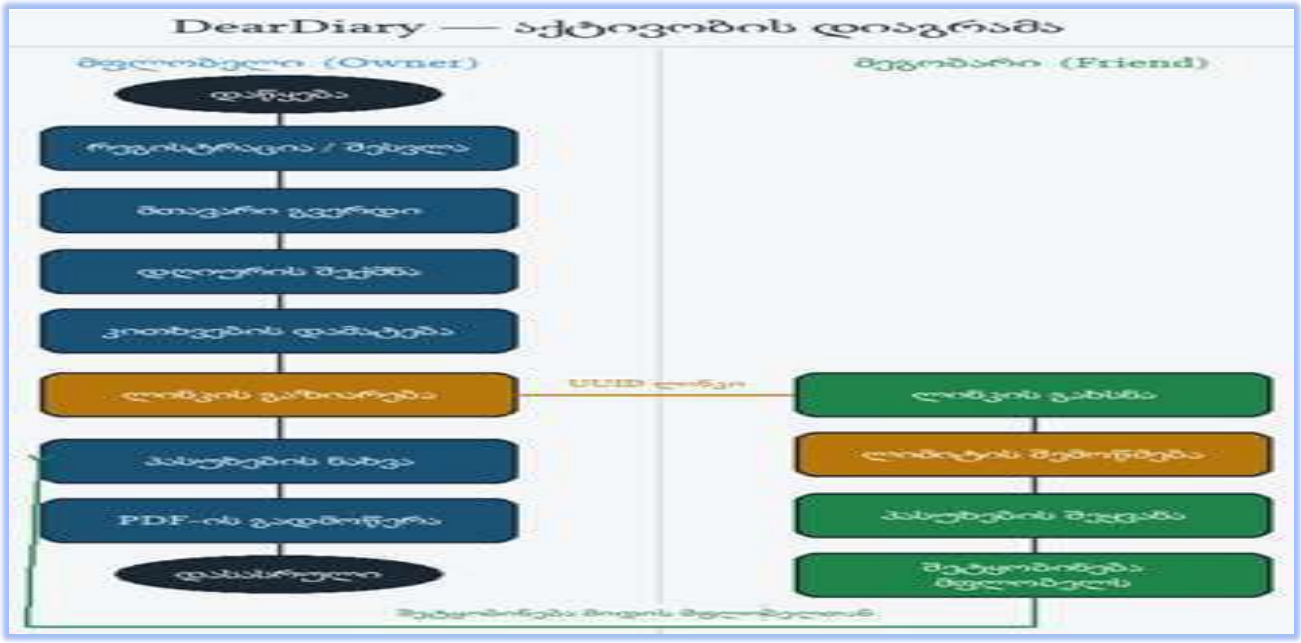
6) *შაბლონების შემუშავება* — HTML/CSS გვერდების შექმნა, Django Template Language-ის გამოყენებით დინამიკური კონტენტისთვის;

7) *დამატებითი ფუნქცია-მოდულების ინტეგრაცია* — CKEditor, WeasyPrint, qrcode, django-qrcode და სხვ.;

8) *ტესტირება/გამართვა* — ლოკალ_სერვერის გაშვება, ფუნქციური ტესტირება, შეცდომების გასწორება;

9) *რეპოზიტორის მართვა* — Git-ის გამოყენებით სხვადასხვა ვერსიის შემუშავება და GitHub-ზე ღია წყაროდ განთავსება.

სისტემა აგებულია Django-ს MVT (Model-View-Template) არქიტექტურულ ნიმუშზე, რომელშიც სამი ძირითადი კომპონენტი მკაფიოდაა გამიჯნული. „Model“ პასუხისმგებელია მონაცემთა ლოგიკაზე და მონაცემთა ბაზასთან ურთიერთობაზე. „View“ შეიცავს ბიზნეს ლოგიკას – HTTP მოთხოვნის დამუშავება, საჭირო მონაცემების ამოღება და მათი გადაცემა შაბლონისთვის. „Template“ კი – მონაცემთა ვიზუალურ წარმოდგენაზე HTML-ის სახით (ნახ.1).

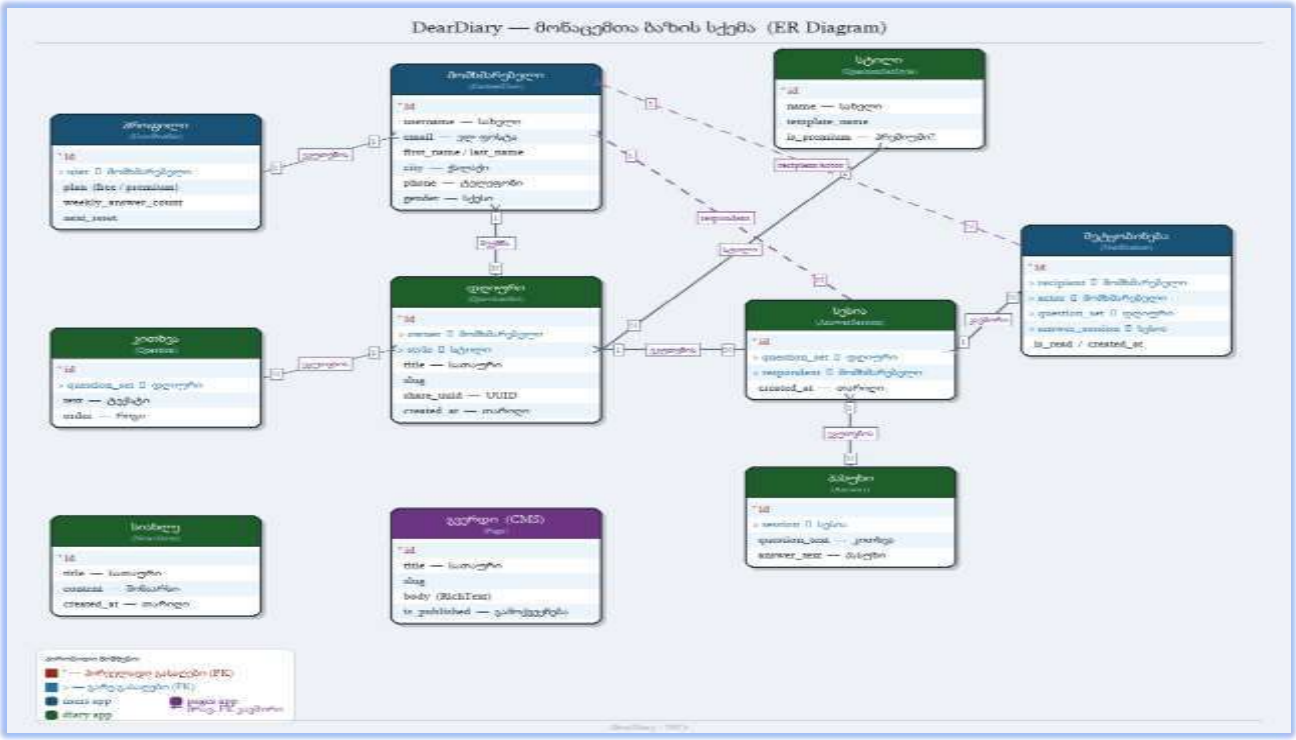


ნახ. 1. სისტემის არქიტექტურის დიაგრამა

მონაცემთა ბაზის სტრუქტურა აგებულია ისე, რომ ფარავდეს მომხმარებლის, ჩანაწერების, კატეგორიებისა და დაკავშირებული ერთეულების შენახვის ყველა საჭიროებას. ცხრილებს შორის ურთიერთობები განსაზღვრულია გარე გასაღებების (ForeignKey) გამოყენებით (ნახ. 2).

ძირითადი ცხრილებია:

- User (auth_user) – სტანდარტული Django-ს მომხმარებლის ცხრილი (username, email, password hash, first_name, last_name, date_joined და სხვ.);
- Profile – მომხმარებლის გაფართოებული პროფილი, რომელიც კავშირშია User-თან OneToOne ურთიერთობით (ავატარი, ბიო, პერსონალური პარამეტრები);
- Entry (დღიურის ჩანაწერი) – სათაური (title), ტექსტი (content – CKEditor ველი), თარიღი (date), განწყობა (mood), კავშირი მომხმარებელთან (author – ForeignKey);
- Category – კატეგორიების სია, რომელშიც ჩანაწერი შეიძლება იყოს მოთავსებული;
- Tag – ტეგების ცხრილი, ManyToMany კავშირით Entry-სთან;



ნახ. 2. მონაცემთა ბაზის სქემა (ER დიაგრამა)

- ცხრილებს შორის ურთიერთობები:
- User → Entry – 1:N კავშირი; (ერთ მომხმარებელს შეიძლება ჰქონდეს მრავალი ჩანაწერი);
- User → Profile – 1:1 კავშირი; Category → Entry — 1:N კავშირი; Entry ↔ Tag – M:N კავშირი.

მთავარი გვერდი არის აპლიკაციის შესასვლელი წერტილი. იგი მომხმარებელს ხვდება მისასალმებელი ბანერით, რომელშიც აღწერილია „DearDiary“-ის მისია – შექმნას მოქნილი და უსაფრთხო სივრცე პერსონალური ფიქრებისთვის. გვერდი მოიცავს ღილაკებს: „დარეგის-ტრირდი“ (ახალი მომხმარებლისთვის) და „შესვლა“ (უკვე რეგისტრირებულისთვის). ამასთან ერთად, შესაძლებელია დღიურში ახალი ჩანაწერის შექმნა, რომლის დროსაც გამოვა სპეციალური ფორმა.

3. დასკვნა

ამრიგად, ავტორების მიერ შემუშავდა აპლიკაცია „DearDiary“ — თანამედროვე, უსაფრთხო და ფუნქციური პერსონალური დღიურის ციფრული პლატფორმა. პროექტი მოიცავს მომხმარებლის რეგისტრაცია-ავთენტიფიკაციის სრულ მექანიზმს, ჩანაწერების შექმნა-რედაქტირება-წაშლის ფუნქციონალს, ფილტრაციისა და ძიების შესაძლებლობებს, PDF-ად ექსპორტს, QR-კოდის გენერაციას, მრავალენოვან მხარდაჭერას და მომხმარებლის პროფილის მართვის სიახლეებს.

Python/Django სტეკი ოპტიმალურია მცირე და საშუალო ზომის ვებპროექტებისთვის. SQLite, როგორც ფაილზე დაფუძნებული მონაცემთა ბაზის სისტემა, აღმოჩნდა საკმარისად ეფექტური განვითარების ეტაპზე და მცირე მასშტაბიანი მონაცემთა მართვისთვის.

სისტემის არქიტექტურა აგებულია Django-ს MVT ნიმუშზე, რომელიც უზრუნველყოფს კოდის სუფთა გამიჯვნას ლოგიკურ, მონაცემთა და პრეზენტაციის ფენებად. მომხმარებლის ინტერფეისი დაგეგმილია მინიმალისტური და მკაფიო პრინციპებით. დიზაინი რესპონსიულია და ფუნქციონირებს როგორც დესკტოპ კომპიუტერებზე, ისე მობილურ მოწყობილობებზე.

ლიტერატურა – References – Литература:

1. აბულაძე ი. (2023). ობიექტზე ორიენტირებული დაპროგრამება და აპლიკაციები Python ენის ბაზაზე. ISBN 978-9941-8-5765-2. სტუ, „IT- კონსალტინგის სამეცნიერო ცენტრი“, თბ., 121 გვ

2. სურგულაძე გ., თოფურია ნ., ბერულავა ა. (2022). პროგრამული პროდუქტების დეველოპმენტი. ISBN 978-9941-8-3810-1, დამხმ. სახელმძღ. სტუ. „IT-კონსალტინგის სამეცნიერო ცენტრი". თბ., -250 გვ.

3. Python Software Foundation. The Python Language Reference. https://docs.python.org/3/ (20.5.26)

4. Django Software Foundation. Django Documentation (Version 5.2). https://docs.djangoproject.com (1.6.26)

5. SQLite Documentation. https://www.sqlite.org/docs.html. (28.04.26)

6. Mozilla Developer Network. HTML, CSS and JavaScript reference. https://developer.mozilla.org/ (12.05.26)

7. WeasyPrint Documentation. https://doc.courtbouillon.org/weasyprint/. (27.05.26).

8. qrcode Python library. https://pypi.org/project/qrcode. (6.05.26)

9. CKEditor Documentation. https://ckeditor.com/docs/ (27.05.26).

(სტატია მიღებულია 31.05.2026)

DEVELOPMENT OF A DIGITAL PERSONAL DIARY WEB APPLICATION USING PYTHON/DJANGO TECHNOLOGY

Abuladze Inga, Mokverashvili Merab

Georgian Technical University

i_abuladze@gtu.ge, merab.mokverashvili@gmail.com

Summary

A digital personal diary ("DearDiary") has been developed, which allows you to communicate with friends via an electronic application, both on a computer and on a smartphone. Accordingly, communication will be safe, flexible, comfortable, and can be used at any time and place. Even during long-distance travel. The web application is built using Python/Django technology. The novelty of the work is that Django automatically creates a panel based on the Python model class, through which the administrator can easily manage the diary data: create, read, update and delete. Django's ORM (Object-Relational Mapping) Models allow the web developer to interact with the database using the Python object language. The Model class in Python is a standard class through which data is automatically translated into a database table using a migration system, which significantly reduces the size of the code and the probability of errors.

(Received 31.05.2026)

РАЗРАБОТКА ВЕБ ПРИЛОЖЕНИЯ ДЛЯ ЦИФРОВОГО ЛИЧНОГО ДНЕВНИКА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕХНОЛОГИЙ PYTHON/DJANGO

Абуладзе И., Мокверашвили М.

Грузинский Технический Университет

i_abuladze@gtu.ge, merab.mokverashvili@gmail.com

Резюме

Разработан цифровой личный дневник ("DearDiary"), позволяющий общаться с друзьями через электронное приложение как на компьютере, так и на смартфоне. Таким образом, общение станет безопасным, гибким, удобным и доступным в любое время и в любом месте. Даже во время дальних поездок. Веб приложение создано с использованием технологии Python/Django. Новинка работы заключается в том, что Django автоматически создает панель на основе класса модели Python, через которую администратор может легко управлять данными дневника: создавать, читать, обновлять и удалять. ORM (объектно-реляционное отображение) моделей Django позволяют веб-разработчику взаимодействовать с базой данных, используя объектный язык Python. Класс Model в Python — это стандартный класс, через который данные автоматически преобразуются в таблицу базы данных с помощью системы миграций, что значительно уменьшает размер кода и вероятность ошибок.

(Поступила 31.05.2026)

B2B სისტემების დისტრიბუტორი კომპანიის ბიზნეს-პროცესების მოდელირება და იმიტაციური ანალიზი პეტრის ქსელებით

მერი არხოშაშვილი
საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი
meriarkhoshashvili@gmail.com

რეზიუმე

განხილულია საწარმოო B2B ბიზნეს-პროცესების ფორმალური მოდელირების მეთოდი, რომელიც ეფუძნება სტოქასტურ პეტრის ქსელებს (SPN) და მასობრივი მომსახურების M/M/c მოდელს. კვლევის ობიექტია ტექნოლოგიური სისტემების B2B დისტრიბუტორი კომპანია, რომლის ოპერაციული ციკლი მოიცავს მიწოდება-შესყიდვების, სადილერო ქსელის მართვის, საინჟინრო ინსტალაციისა და მომხმარებელთა მომსახურების ურთიერთდაკავშირებულ პროცესებს. აღწერილია კომპანიის ოთხი ქვე-პროცესის საერთო PN = (P, T, F, W, M_0) მოდელი (30 ადგილი, 24 გარდამავალი, 67 ნაკადის რელაცია), მისი სტოქასტური გაფართოება ექსპონენციალური Exp(λ)/Exp(μ) პარამეტრებით და დისკრეტულ-მოვლენებზე დაფუძნებული იმიტაციური სიმულაცია (n=400 შეკვეთა). სიმულაციის Pareto-ანალიზმა გამოავლინა, რომ ორმა ტრანზიციამ (საბაჟო კლირენსმა და საზღვაო ტრანზიტმა) განაპირობა შეკვეთის სრული ლოდინის დროის 95%-ზე მეტი, ხოლო ცალკეული ტრანზიციების ერთდროულმა ოპტიმიზაციამ ქსელის მასშტაბით შეკვეთის საშუალო ციკლი 170.1-დან 134.7 დღემდე შეამცირა (-20.9%). მიღებული შედეგები ადასტურებს, რომ გაერთიანებული, ქსელური სიმულაცია აუცილებელია ცალკეული M/M/c შეფასებების პარალელურად, რადგან მხოლოდ სისტემურმა ანალიზმა გამოავლინა ცვალებადობის გავრცელების (variability amplification) ეფექტი.

საკვანძო სიტყვები: პეტრის ქსელი. სტოქასტური მოდელირება. იმიტაციური პროცესი. ბიზნესპროცესი. რიგების თეორია. ბოტლნექის ანალიზი.

1. შესავალი

თანამედროვე B2B კომპანიების ოპერაციული პროცესები – მიწოდების ჯაჭვი, პარტნიორ-დილერების ქსელი, საინჟინრო მომსახურება და მომხმარებელთა მხარდაჭერა – ერთმანეთთან მჭიდროდაა დაკავშირებული და ხასიათდება არაერთგვაროვანი, სტოქასტური ბუნების დროითი პარამეტრებით: მიწოდების ვადები, საბაჟო პროცედურები, სამუშაო ძალის ხელმისაწვდომობა და მომხმარებელთა მოთხოვნის ინტენსივობა ცვალებადია და ურთიერთდამოკიდებული. ასეთი პროცესების ანალიზისთვის ცალკეული, დეტერმინისტული ან საშუალო-მაჩვენებლებზე დაფუძნებული შეფასებები არასაკმარისია, რადგან ისინი ვერ ასახავენ პარალელურ ნაკადებს, სინქრონიზაციასა და რესურსზე კონკურენციას.

პეტრის ქსელები (Petri Nets, PN) არის ფორმალური, გრაფულ-მათემატიკური აპარატი პარალელური, ასინქრონული და რესურსშეზღუდული სისტემების აღწერისთვის [1-4]. მათი სტოქასტური გაფართოება (Stochastic Petri Nets, SPN), რომელშიც გარდამავლებს ენიჭებათ ალბათური (ჩვეულებრივ ექსპონენციალური) ცეცხლგაჩენის დრო, საშუალებას იძლევა SPN მოდელი ანალიტიკურად დაუკავშირდეს უწყვეტ-დროიან მარკოვის ჯაჭვს (CTMC) და მასობრივი მომსახურების (queueing) თეორიას [5]. სწორედ ამ თვისების გამო აირჩა SPN + M/M/c მიდგომა წინამდებარე კვლევაში – მისი მიზანია არა მხოლოდ სისტემის სტრუქტურული (თვისებრივი) ასახვა, არამედ რაოდენობრივი – ლოდინის დროების, დატვირთვისა და ბოტლნექების – შეფასება, რაც პირდაპირ გამოსადეგია მენეჯერული გადაწყვეტილებებისთვის. სტატიის ამოცანაა:

(ა) ჩამოყალიბდეს B2B ტექნოლოგიური სისტემების დისტრიბუტორი კომპანიის ოთხი ურთიერთდაკავშირებული ბიზნეს-პროცესის ერთიანი SPN მოდელი;

(ბ) მოდელის საფუძველზე ჩატარდეს M/M/c ანალიზი კრიტიკულ სერვის-კვანძებში;

(გ) განხორციელდეს დისკრეტულ-მოვლენებზე დაფუძნებული ქსელური სიმულაცია, რომელიც აჩვენებს ცალკეული ოპტიმიზაციების ერთობლივ ეფექტს მთელი შეკვეთის ციკლზე. ასეთი მიდგომა აფართოებს Siddiqui et al. (2020) [6] ცალკეული, იზოლირებული რიგის SPN ჩარჩოს ქსელურ (tandem) დონემდე.

2. ძირითადი ნაწილი

2.1. კვლევის ობიექტი და ბიზნეს-ამოცანის აღწერა

კვლევის ობიექტია ტექნოლოგიური სისტემების B2B დისტრიბუტორი კომპანია, რომელიც საქმიანობს სადილერო ქსელის მეშვეობით, ახორციელებს საპროექტო-საინჟინრო მომსახურებასა და ტექნოლოგიური მოწყობილობების იმპორტს. კომპანიის ოპერაციული ჯაჭვი პირობითად იყოფა ოთხ ურთიერთდაკავშირებულ ბლოკად:

(1) მიწოდება-შესყიდვები – შეკვეთის განთავსება, გადახდა, საზღვაო ტრანზიტი და საბაჟო გაფორმება; (2) სადილერო პარტნიორების მართვა – 50-ზე მეტი დილერის კრედიტ-ანალიზი, ხელშეკრულებები, საქონლის გამოყოფა და ანგარიშსწორების კონტროლი; (3) საინჟინრო სერვისი და ინსტალაცია – ობიექტის შეფასება, ინჟინრების განრიგი, მონტაჟი და ჩაბარება; (4) გაყიდვის შემდგომი (After-Sales) მომსახურება – სერვის-ტიქეტების პრიორიტეტიზაცია და დახურვა SLA-ვადების დაცვით.

ბიზნეს-ამოცანაა ამ ჯაჭვის ბოტლნექების იდენტიფიცირება და რესურსული ოპტიმიზაციის (პერსონალის, პარტნიორებისა და პროცედურების დონეზე) რაოდენობრივი დასაბუთება.

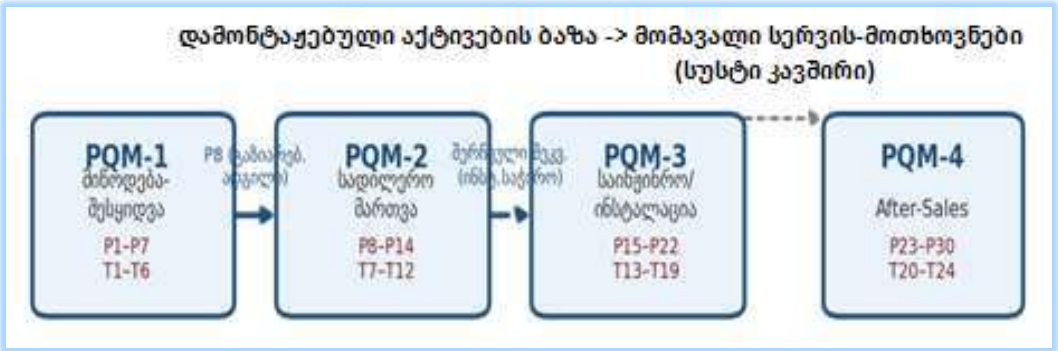
2.2. საწარმოო ბიზნეს-პროცესების პეტრის ქსელის მოდელი

ოთხივე ბლოკის ფორმალური აღწერისთვის აგებულია ერთიანი PN მოდელი ხუთელემენტიანი ტუპლის სახით – $PN = (P, T, F, W, M_0)$, სადაც P არის პოზიციების (Places/states) სასრული სიმრავლე, T – გადასვლების (Transitions/events) სასრული სიმრავლე, $F \subseteq (P\times T)\cup(T\times P)$ – ნაკადის (flow) რელაცია, W – რკალების წონები, ხოლო M_0 – საწყისი მარკირება. თითოეული ბლოკი (PQM-1–PQM-4) აგებულია, როგორც ცალკე ქვე-ქსელი, რომელთა შორის სინქრონიზაცია ხორციელდება საერთო ადგილების (shared places) და ინჰიბიტორული რკალების საშუალებით – ეს განსაკუთრებით ეხება P8 პოზიციას, რომელიც აკავშირებს მიწოდების ჯაჭვს (PQM-1) და სადილერო ბლოკს (PQM-2). ცხრილი 1 აჯამებს ოთხივე ქვე-ქსელის სტრუქტურულ პარამეტრებს და თითოეულში ემპირიულად გამოვლენილ კრიტიკულ ტრანზიციას.

B2B კომპანიის გაერთიანებული პეტრის ქსელის მოდელის სტრუქტურული პარამეტრები **ცხრ.1**

ქვე-ქსელი	ბიზნეს-პროცესი	ადგილები (P)	გარდამ. (T)	კრიტიკული ტრანზიცია
PQM-1	მიწოდება-შესყიდვები	P1–P8	T1–T6	T4 — საბაჟო კლირენსი (μ_2 = 0.9/დღე)
PQM-2	სადილერო ქსელის მართვა	P8–P14	T7–T12	T12 — გადახდის კონტროლი (DPO ≥ 45 დღე)
PQM-3	საინჟინრო სერვისი, ინსტალაცია	P15–P22	T13–T19	T14 — ინჟინრის გამოყოფა (M/M/c, c = 2)
PQM-4	After-Sales მომსახურება	P23–P30	T20–T24	T21 — სპეციალისტის გამოყოფა (M/M/c, c = 3)
სულ (გაერთი-ანებული)	PQM-1…PQM-4 ინტეგრაცია	30	24	67 ნაკადის რელაცია (F)

1-ელი ნახაზი ასახავს გაერთიანებული მოდელის საბლოკო სქემას – ოთხი ქვე-ქსელის თანმიმდევრულ და პარალელურ ურთიერთკავშირს ერთიან ციფრულ ტყუპში (digital twin). ამ დონეზე მოდელი ცხადყოფს, რომ სისტემა არ არის მარტივი „მილსადენი“ (pipeline): PQM-4 დამოუკიდებელ, პარალელურ ტიკეტ-ნაკადს წარმოადგენს, ხოლო PQM-1→ PQM-2→ PQM-3 გადასვლები ხისტ თანმიმდევრობას იცავს გაზიარებული ადგილების მეშვეობით.



ნახ. 1. B2B კომპანიის გაერთიანებული (Unified) PN მოდელი – ოთხივე ქვე-ქსელის ინტეგრაცია ერთიან სისტემად (30 ადგილი, 24 გარდამავალი, 67 ნაკადის რელაცია)

2.3. სტოქასტური გაფართოება

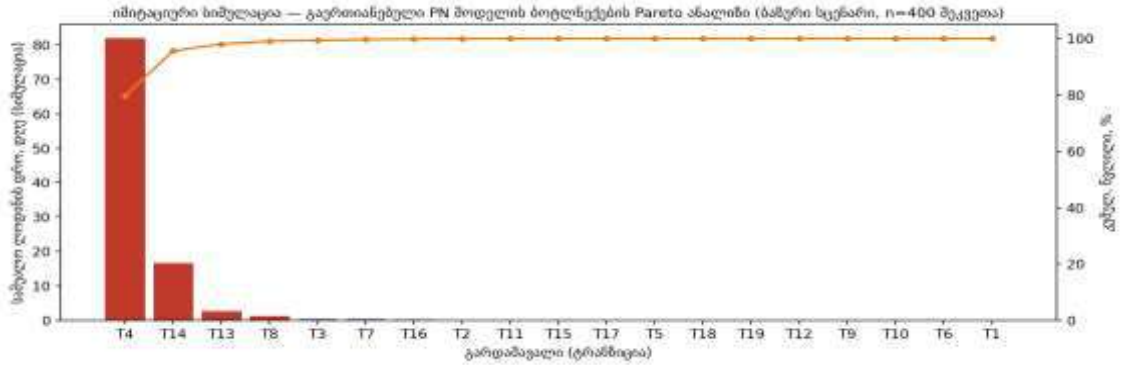
კლასიკური PN მოდელი ავსებს მხოლოდ თვისებრივ (ლოგიკურ) სურათს – შესაძლებელია თუ არა კონკრეტული მიმდევრობა. რაოდენობრივი შეფასებისთვის ყოველ დროით გადასასვლელს ენიჭება ექსპონენციალურად განაწილებული „firing time" დრო, პარამეტრებით Exp(λ) (მოსვლის ინტენსივობა) ან Exp(μ) (მომსახურების ინტენსივობა), რაც მოდელს გარდაქმნის სტოქასტურ პეტრის ქსელად (SPN). ამ დაშვების პირობებში SPN-ის მდგომარეობათა სივრცე იზომორფულია უწყვეტ-დროიანი მარკოვის ჯაჭვის (CTMC) მდგომარეობათა სივრცისა, რაც პრინციპულად იძლევა მყარი მდგომარეობის ალბათობების $\pi = (\pi_0, \pi_1, \ldots, \pi_n)$ ანალიტიკურ გამოთვლას ბალანსის განტოლებების ამოხსნით. სისტემაში საშუალო ლოდინის შეფასებისთვის გამოყენებულია Little-ის ფორმულა [10]: $L = \lambda \cdot W_s$, სადაც L – სისტემაში ერთდროულად მყოფი მოთხოვნების საშუალო რაოდენობაა, ხოლო W_s – ერთი მოთხოვნის სისტემაში ყოფნის საშუალო დრო.

კრიტიკულ, რესურსშეზღუდულ ტრანზიციებში (T14 – ინჟინრის გამოყოფა; T21 – After-Sales სპეციალისტის გამოყოფა) SPN პარამეტრები პირდაპირ გამოიყენება M/M/c მოდელში, Erlang-C ფორმულით ლოდინის ალბათობის შესაფასებლად: $C(c, \rho) = [(c\rho)^c / (c!(1-\rho))] \cdot P_0$, სადაც c – სერვის-სერვერების (ინჟინრები/სპეციალისტები) რაოდენობაა, $\rho = \lambda/(c\mu)$ – სერვერის დატვირთვის კოეფიციენტი. ეს მიდგომა შესაძლებელს ხდის თითოეული სერვის-კვანძისთვის განისაზღვროს, რამდენი დამატებითი რესურსია საჭირო მოცემული ლოდინის მიზნის (მაგალითად, SLA) მისაღწევად.

2.4. იმიტაციური სიმულაცია და შედეგები

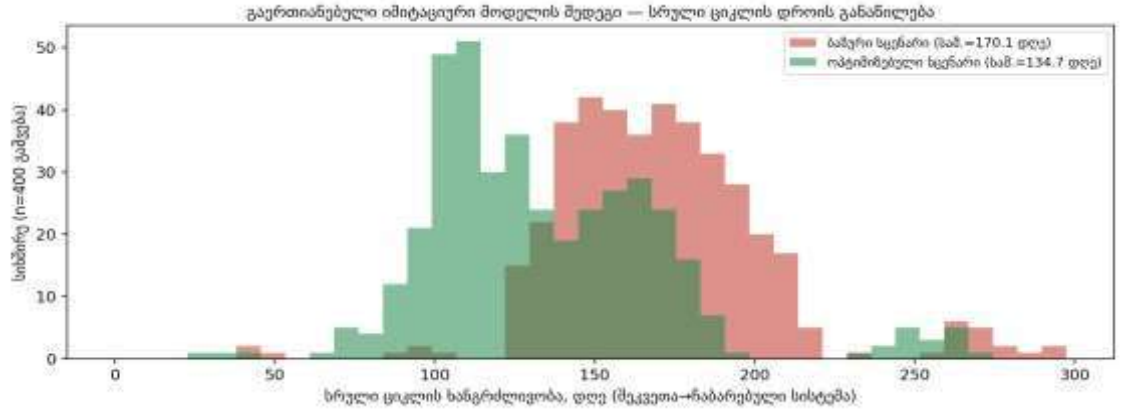
ცალკეული M/M/c შეფასებები თითოეულ ტრანზიციას იზოლირებულად განიხილავს და ვერ აჩვენებს, თუ როგორ ვრცელდება ერთი კვანძის ცვალებადობა ქვედა დინების (downstream) კვანძებზე. ამის შესაფასებლად აგებულია დისკრეტულ-მოვლენებზე დაფუძნებული (discrete-event) იმიტაცია: სისტემა მოდელირებულია, როგორც თანმიმდევრული (tandem) რიგების ქსელი, სადაც ერთი „სრული სერვისის“ შეკვეთა (იმპორტი →დილერზე გამოყოფა →ინსტალაცია) გადის PQM-1–PQM-3-ის 19 ტრანზიციაზე (T1–T19) თანმიმდევრობით, თითოეული – c-სერვერიანი FIFO რიგის სახით, ექსპონენციალური მომსახურების დროით. ახალი შეკვეთები გენერირდება პუასონის პროცესით, ინტენსივობით $\lambda = 0.25$ შეკვეთა/დღეში, სულ $n = 400$ დამუშავებული ტოკენით ერთ სცენარზე. PQM-4 (After-Sales) დამოუკიდებელ ტიკეტ-ნაკადად განიხილება, ვინაიდან სტრუქტურულად სხვაგვარი ბუნების ტოკენებთან გვაქვს საქმე.

მე-2 ნახაზი გვიჩვენებს ბაზური სცენარის Pareto-ანალიზს – თითოეული ტრანზიციის წვლილს შეკვეთის სრულ ლოდინის დროში. შედეგი მოულოდნელია: მხოლოდ ორმა ტრანზიციამ – T4 (საბაჟო პროცედურა) და T3 (საზღვაო ტრანზიტი) – ერთად განაპირობა ლოდინის დროის 95%-ზე მეტი, მაშინ როცა T14 (ინსტალაციის ინჟინრები), საკუთარი ქვე-ქსელის (PQM-3) ფარგლებში კრიტიკული ტრანზიცია, მთელი ქსელის მასშტაბით მხოლოდ მეორეხარისხოვან როლს თამაშობს. ეს განსხვავება არ ჩანდა ცალკეული M/M/c ცხრილებით – მხოლოდ გაერთიანებულმა სიმულაციამ გამოავლინა, რომ მაღალვარიაციული ზემო-ნაკადის ტრანზიციები (T3-ის 25–35-დღიანი ტრანზიტი) გადაცემით ზრდის ქვედა რიგების (T4) ლოდინს – ცვალებადობის გავრცელების (variability amplification) ეფექტი, რაც წინამდებარე კვლევის კონკრეტული წვლილია Siddiqui et al. (2020) [6]-ის ცალკეული-რიგის ჩარჩოსთან შედარებით.



ნახ. 2. ბოტლნექების Pareto ანალიზი (ბაზური სცენარი, n = 400) – თითოეული ტრანზიციის საშუალო წვლილი შეკვეთის სრულ ლოდინის დროში

მე-3 ნახაზზე შედარებულია სრული ციკლის დროის (შეკვეთა → ჩაბარებული სისტემა) განაწილება ბაზურ და ოპტიმიზებულ სცენარებში. საბაჟო ტრანზიციისა (T4-ის μ_2 ზრდა სერტიფიცირებული ბროკერის მეშვეობით 0.9-დან 1.8/დღემდე) და ინსტალაციის გუნდის (T14, c: 2 → 3) ერთდროულმა ოპტიმიზაციამ შეკვეთის საშუალო სრული ციკლი შეამცირა 170.1 დღიდან 134.7 დღემდე – 20.9%-იანი გაუმჯობესება ქსელის მასშტაბით. ეს მაჩვენებელი მნიშვნელოვნად დაბალია, ვიდრე ცალკეული ტრანზიციისთვის მიღებული 78.9%-იანი შემცირება (იხ. ცხრილი 2) – რადგან ცალკეული კვანძის გაუმჯობესება ნაწილობრივ „იშლება“ სხვა, არაოპტიმიზებულ ეტაპებში (T3-ის ხანგრძლივი და ცვალებადი ტრანზიტი). სწორედ ეს განსხვავება ასაბუთებს, რატომაა საჭირო სისტემურ დონეზე ჩატარებული ქსელური სიმულაცია ცალკეული ტრანზიციების M/M/c ანალიზის პარალელურად საინვესტიციო პრიორიტეტების რეალისტური შეფასებისთვის.



ნახ. 3. სრული ციკლის დროის განაწილება (შეკვეთა –ჩაბარებული სისტემა), ბაზური და ოპტიმიზებული სცენარები, n = 400

M/M/c ოპტიმიზაციისა და ქსელური სიმულაციის შედეგების შეჯამება ცხრ.2

მაჩვენებელი	ბაზური სცენარი	ოპტიმიზებული სცენარი	ცვლილება
ინსტალაციის ლოდინი E[W] (T14, c: 2→3)	4.21 სთ	0.89 სთ	–78.9%
After-Sales P1-კატეგ. ლოდინი (T21, c: 3→4)	18.5 სთ	4.3 სთ	–76.8%
სრული შეკვეთის ციკლი (ქსელური სიმულაცია, n = 400)	170.1 დღე	134.7 დღე	–20.9%

მე-2 ცხრილის შედეგები ადასტურებს ორ პრაქტიკულ დასკვნას: (ა) ცალკეული სერვის-კვანძის M/M/c ოპტიმიზაცია (მაგალითად, ინსტალაციის გუნდის 2-დან 3 ინჟინრამდე გაზრდა) იძლევა მაღალ ლოკალურ ეფექტს (–78.9%), თუმცა (ბ) ამ ეფექტის რეალური ასახვა მთლიან ბიზნეს-ციკლზე მნიშვნელოვნად ნაკლებია (–20.9%) და დამოკიდებულია სხვა, არაოპტიმიზებულ ეტაპებზეც – კერძოდ, საბაჟო კლირენსისა და საზღვაო ტრანზიტის ხანგრძლივ და მაღალვარიაციულ ბუნებაზე. ამასთან, After-Sales-ის P1 (კრიტიკული) კატეგორიის SLA-მოთხოვნა (≤4 სთ) ვერც c = 3, ვერც c = 4 სპეციალისტის პირობებში სრულდება (4.3 სთ > 4 სთ), რაც მიუთითებს დამატებით რესურსზე (c = 5) ან სპეციალიზებულ, მხოლოდ კრიტიკულ გამოძახებებზე ორიენტირებულ ბრიგადაზე მოთხოვნას.

3. დასკვნა

ნაშრომში წარმოდგენილი სტოქასტური პეტრის ქსელისა და M/M/c რიგების თეორიის ინტეგრირებული მიდგომა საშუალებას იძლევა ერთიანად აისახოს B2B იმპორტ-დისტრიბუტორის ოთხი ურთიერთდაკავშირებული ბიზნეს-პროცესი (30 ადგილი, 24 გარდამავალი) და რაოდენობრივად შეფასდეს რესურსული ოპტიმიზაციის ეფექტი. ცალკეული M/M/c შეფასებები აზუსტებს კონკრეტული სერვის-კვანძის ქცევას, თუმცა მხოლოდ გაერთიანებულმა, დისკრეტულ-მოვლენებზე დაფუძნებულმა სიმულაციამ გამოავლინა ცვალებადობის გავრცელების (variability amplification) ეფექტი და დაასაბუთა, რომ საბაჟო პროცედურების და საზღვაო ტრანზიტის ტრანზიციები, და არა ერთადერთი „კლასიკური“ ბოტლნექი (ინსტალაციის ინჟინრები), განსაზღვრავენ მთელი შეკვეთის ციკლის უმეტეს ნაწილს. ეს შედეგი აფართოებს Siddiqui et al. (2020) [6]-ის ცალკეული-რიგის SPN ჩარჩოს ქსელურ (tandem) დონემდე და გვთავაზობს გადაწყვეტილების მიღების პრაქტიკულ ინსტრუმენტს – საინვესტიციო პრიორიტეტების განსაზღვრა უნდა ეფუძნებოდეს არა ცალკეული ტრანზიციის ლოკალურ, არამედ მთელი ქსელის სისტემურ ეფექტს. მიღებული რაოდენობრივი შედეგები (ცხრილი 2) წარმოადგენს საფუძველს ERP/SRM ინტეგრირებული მართვის სისტემისა და შემდგომი, ავტომატიზებულ ხელსაწყოებში (CPN Tools, PetriNet++) მოდელის ვალიდაციისთვის.

ლიტერატურა – References – Литература:

1. Surguladze, G., Kristesiashvili, K., & Surguladze, G. (2015). საწარმოო რესურსების მენეჯმენტის ბიზნესპროცესების მოდელირება და ავტომატიზაცია. თბილისი: „ტექნიკური უნივერსიტეტი“.

2. Surguladze, G., Okhanashvili, M., & Surguladze, G. (2009). მარკეტინგის ბიზნეს-პროცესების უნიფიცირებული და იმიტაციური მოდელირება. თბილისი: „ტექნიკური უნივერსიტეტი“.

3. Peterson, J. L. (1977). Petri nets. ACM Computing Surveys (CSUR), 9(3), 223–252.

4. Peterson, J. L. (1981). Petri net theory and the modeling of systems. Prentice Hall PTR.

5. Ajmone Marsan, M., Conte, G., & Balbo, G. (1984). A class of generalized stochastic Petri nets for the performance evaluation of multiprocessor systems. ACM Transactions on Computer Systems, 2(2), 93–122.

6. Siddiqui, S., Darbari, M., & Yagyasen, D. (2020). Modelling and Simulation of Queuing Models through the concept of Petri Nets. Advances in Distributed Computing and Artificial Intelligence Journal, 9(3). DOI: 10.14201/ADCAIJ2020931.

7. Kounev, S., Nou, R., & Torres, J. (2012). Introduction to queueing petri nets. Proceedings of the 3rd ACM/SPEC International Conference on Performance Engineering (ICPE '12).

8. Balsamo, S., & Marin, A. (2007). On representing multiclass M/M/k queues by generalized stochastic Petri nets. Proceedings of ECMS.

9. Agerwala, T. (1979). Special feature: Putting Petri nets to work. Computer, 12(12), 85–94.

10. Little, J. D. C. (1961). A Proof for the Queuing Formula: L = λW. Operations Research, 9(3), 383–387.

11. Erlang, A. K. (1917). Solution of some problems in the theory of probabilities of significance in automatic telephone exchanges. Post Office Electrical Engineers' Journal, 10, 189–197.

12. Dumas, M., La Rosa, M., Mendling, J., & Reijers, H. A. (2018). Fundamentals of Business Process Management (2nd ed.). Springer.

(სტატია მიღებულია 12.07.2026)

MODELING AND SIMULATION ANALYSIS OF BUSINESS PROCESSES OF A B2B SYSTEMS DISTRIBUTION COMPANY USING PETRI NETS

Arkhoshashvili Meri

Georgian Technical University
meriarkhoshashvili@gmail.com

Summary

The paper presents a formal modelling method for industrial B2B business processes based on stochastic Petri nets (SPN) combined with M/M/c queueing theory. The research object is a B2B distributor company of technological systems, whose operational cycle links four interdependent processes: supply-chain procurement, dealer-network management, engineering installation, and after-sales service. A unified PN = (P, T, F, W, M_0) model of the four sub-processes is described (30 places, 24 transitions, 67 flow relations), together with its stochastic extension using exponential Exp(λ)/Exp(μ) parameters and a discrete-event simulation (n = 400 orders). Pareto analysis of the simulation shows that two transitions – customs clearance and sea transit – account for over 95% of total order waiting time, while joint optimisation of individual transitions reduces the mean end-to-end order cycle from 170.1 to 134.7 days network-wide (-20.9%). The results confirm that network-level, tandem-queue simulation is necessary alongside isolated M/M/c estimates, since only the system-level analysis reveals a variability-amplification effect between upstream and downstream transitions.

(Received 12.07.2026)

МОДЕЛИРОВАНИЕ И ИМИТАЦИОННЫЙ АНАЛИЗ БИЗНЕС-ПРОЦЕССОВ КОМПАНИИ- ДИСТРИБЬЮТОРА B2B-СИСТЕМ С СЕТЯМИ ПЕТРИ

Архошашвили М.

Грузинский Технический Университет
meriarkhoshashvili@gmail.com

Резюме

Рассматривается формальный метод моделирования бизнес-процессов B2B в производстве на основе стохастических сетей Петри (SPN) и модели массового обслуживания M/M/c. Объектом исследования является B2B-дистрибьютор технологических систем, операционный цикл которого включает взаимосвязанные процессы поставки-закупки, управления дилерской сетью, инженерно-технического обслуживания и обслуживания клиентов. Описана общая модель PN = (P, T, F, W, M_0) четырех подпроцессов компании (30 точек, 24 перехода, 67 потоковых отношений), ее стохастическое разложение с экспоненциальными параметрами Exp(λ)/Exp(μ) и имитационное моделирование на основе дискретных событий (n=400 заказов). Парето-анализ моделирования показал, что на два перехода (таможенное оформление и морской транзит) приходилось более 95% общего времени ожидания заказа, в то время как одновременная оптимизация отдельных переходов по всей сети сократила средний цикл обработки заказа со 170,1 до 134,7 дней (-20,9%). Результаты подтверждают необходимость проведения комбинированного моделирования в масштабах всей сети параллельно с индивидуальными оценками M/M/c, поскольку только системный анализ выявил эффект усиления изменчивости.

(Поступила 12.07.2026)

ARTIFICIAL INTELLIGENCE-BASED OPTICAL COHERENCE TOMOGRAPHY IMAGE ANALYSIS FOR MONITORING NEOVASCULAR AGE-RELATED MACULAR DEGENERATION PROGRESSION: A PRELIMINARY FEASIBILITY STUDY

Surguladze Mariam
Georgian Technical University
Surguladze.mariam24@gtu.ge

Abstract

Neovascular age-related macular degeneration represents a progressive disease of the retina. Initially, there are anatomical changes developing on the retina, following with the subjective visual disturbance symptoms. Therefore, it requires objective structural monitoring. This is a preliminary feasibility study of an AI-based workflow for optical coherence tomography image analysis. A new modular structure of decision support was designed, consisting of presentation, inference and training-management layers. In this study, a PyTorch convolutional neural network was trained with 102 balanced images - 51 normal and 51 pathological images were used. All images were processed to gray scale, resized, normalized, and augmented by rotation, horizontal flipping, and brightness or contrast changes. The accuracy at baseline was 51.00%, while accuracy after supervised training and accuracy after augmentation were 90.20% and 98.04%, respectively. The results of the study suggest that the model is able to learn the structural patterns in the retina and offer technical foundation for future volumetric biomarker extraction and longitudinal progression monitoring.

Keywords: neovascular age-related macular degeneration; optical coherence tomography; artificial intelligence; convolutional neural network; V-Net; retinal biomarkers; disease progression

1. Introduction

Neovascular age-related macular degeneration is a major cause of permanent loss of central vision in older people and is a growing public health problem in ageing populations. Clinical manifestation of the disease occurs with the choroidal neovascularization, exudative activity and progressive, continuous structural breakdown of the retina layers. Although anti-vascular endothelial growth factor therapy has improved visual outcomes, treatment remains suppressive rather than curative. Long-term disease control therefore depends on repeated monitoring and timely recognition of reactivation or insufficient response [1,2].

This paper represents a preliminary feasibility study covering optical coherence tomography scans analysis in neovascular age-related macular degeneration. A specially designed supervised deep learning model can differentiate normal from pathological optical coherence tomography scans with a good preliminary accuracy to help make further advancement of a quantitative progression-monitoring system.

Current disease assessment is largely based on in-person follow-up visits and expert interpretation of optical coherence tomography images. However, structural deterioration may precede subjective symptoms, and symptom-driven follow-up is insufficient for safe monitoring. The most clinically relevant imaging biomarkers include intraretinal fluid, subretinal fluid, and central subfield thickness, because they reflect exudative activity, macular edema, treatment response, and retinal structural integrity [3,4]. In routine practice, these biomarkers are commonly assessed qualitatively, which creates variability between observers and limits sensitivity to subtle longitudinal changes.

Volumetric optical coherence tomography provides a biomedical engineering opportunity to automatically extract quantitative imaging biomarkers such as fluid volume, spatial distribution, and percentage change over time. These objective measurements might help distinguish between stable disease, early reactivation, and progressive disease, and for better retreatment timing and follow-up planning.

Deep learning has become an important research direction in retinal image analysis. Prior studies have demonstrated that automated systems can detect age-related macular degeneration stages and support optical coherence tomography-based disease activity assessment in real-world datasets [5,6]. Reviews of artificial intelligence in retinal imaging also indicate growing interest in models that move beyond diagnosis toward

monitoring, prediction, and clinical workflow support [1,6]. Real-time artificial intelligence-based enhancement of three-dimensional optical coherence tomography has also been proposed as a strategy to support treatment-decision optimization in neovascular age-related macular degeneration [11].

Automated retinal fluid assessment is especially relevant in neovascular age-related macular degeneration because intraretinal and subretinal fluid are meaningful biomarkers of disease activity and visual prognosis [3,4]. Fully automated methods have shown that deep learning can identify and quantify macular fluid in optical coherence tomography images with performance approaching expert grading [7]. More recent work has emphasized quantitative image analysis, fluid monitoring under therapy, and the need for reproducible longitudinal measurements [1,8].

U-Net-based architectures are widely used for biomedical image segmentation because their encoder-decoder structure and skip connections preserve local detail while incorporating broader anatomical context [9]. In retinal monitoring, two-dimensional U-Net models are useful for segmenting fluid compartments in individual B-scans, while three-dimensional U-Net or V-Net approaches are better suited for volumetric analysis, voxel-level fluid quantification, and longitudinal comparison across visits. This literature supports the planned transition from binary classification to segmentation-based progression monitoring.

2. Main part

2.1. Study Design and Dataset

This work was designed as a preliminary feasibility study. A balanced dataset of 102 optical coherence tomography images was used, consisting of 51 normal and 51 pathological retinal scans. The first experimental objective was to verify whether a supervised model could learn discriminative structural patterns from retinal images before progressing to more complex segmentation and longitudinal modeling.

The images were preprocessed in a consistent manner. All images were converted to grayscale (single channel), resized to 224 x 224 pixels and normalized for minimizing the intensity difference and homogeneity of the input data for the model. Data augmentation was performed as a training strategy to lower the risk of overfitting due to the limited size of the data set. There was a random rotation, flip horizontally and adjust brightness and/or contrast in the augmentation.

2.2. Model Architecture and Training

The implementation of a convolutional neural network was performed with PyTorch library. The model was developed to classify images into normal or pathological classes, which is a binary classification problem. Training was performed using Cross-Entropy loss and the Adam adaptive optimization algorithm. Model performance was evaluated using classification accuracy.

The system was organized conceptually as a modular clinical decision-support architecture. The presentation layer can be implemented through a simple Streamlit interface, allowing image upload and visualization of results. The inference layer is responsible for pre-processing and computing class probabilities. The training layer provides weights for models and enables future model reproducibility, versioning and extension to cloud services like Azure Machine Learning [10] (Figure 1).

2.3. Planned Progression-Monitoring Extension

Because classification alone cannot localize lesions or quantify disease burden, the planned next stage is voxel-level segmentation using V-Net or three-dimensional U-Net architectures. These models will operate on volumetric optical coherence tomography scans and will aim to segment intraretinal fluid and subretinal fluid compartments. After segmentation, quantitative biomarkers such as fluid volume per visit and change relative to baseline can be calculated. Future integration of longitudinal models, including recurrent neural networks or transformer-based architectures, may allow sequential scans from the same patient to be analyzed over time. This would transform the system from a classification tool into a progression-monitoring platform capable of estimating disease trajectory, treatment response, and recurrence risk.

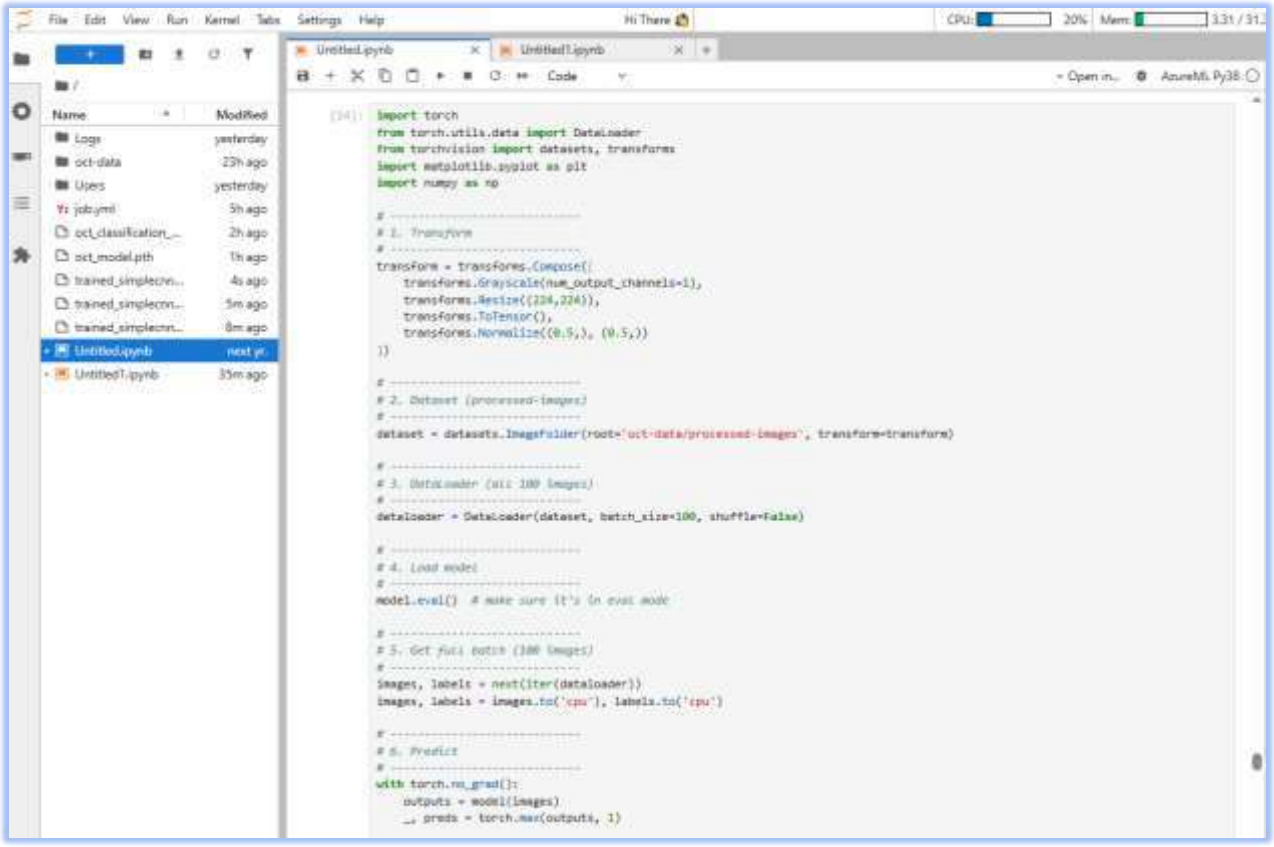


Figure 1. Jupyter Notebook environment for PyTorch-based image preprocessing, model loading, and inference

Compared with routine visual assessment, the planned artificial intelligence-assisted extension is expected to provide automated fluid detection, direct volumetric measurement, percentage change across sequential visits, standardized identification of subtle recurrence, and future longitudinal trajectory prediction. These functions are not intended to replace the clinician, but to support objective, reproducible, and time-efficient interpretation of retinal structural change.

3. Results and Future Work

The experimental evaluation demonstrated progressive improvement in classification performance. The uninitialized model achieved 51.00% accuracy, corresponding to stochastic guessing in a balanced binary classification task. After supervised training, accuracy increased to 90.20%, indicating that the convolutional neural network had learned relevant high-dimensional patterns in retinal texture and structure. After integration of data augmentation, final accuracy reached 98.04%. (Figure 2).

These results support the initial hypothesis that a supervised deep learning model can distinguish normal from pathological images with high preliminary accuracy. This observed improvement also highlights the need for pre-processing and augmentation in a small medical imaging dataset. Results should be considered as feasibility evidence, however, and not as full clinical validation due to the small dataset and the limited output limited to classification.

Future work will involve extending the dataset, adding scans taken from other devices, and testing the model with expert input. One of the most crucial technical extensions will be the shift from image-level classification to voxel-level segmentation, which can be done with V-Net or 3D U-Net. This will enable calculation of intraretinal and subretinal fluid volumes, central subfield thickness trends, and percentage changes across sequential visits. In later stages, temporal models may be used to predict recurrence risk and treatment response.

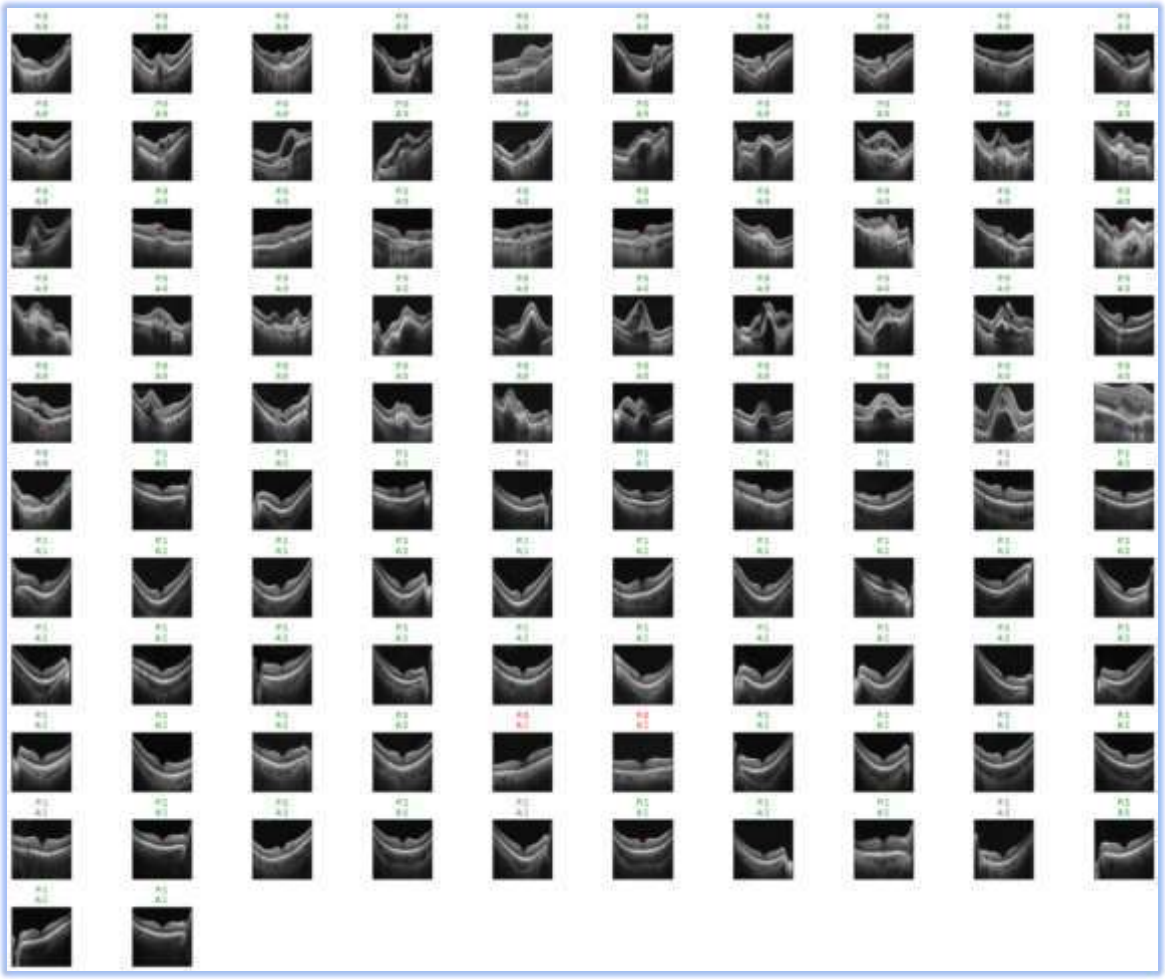


Figure 2. Representative classification output after supervised training and data augmentation

The preliminary classification result is encouraging, but it should not be interpreted as evidence of clinical readiness. In daily retinal practice, treatment decisions are not based only on whether a scan is normal or pathological; they require localization of disease activity, estimation of fluid burden, and comparison with previous visits. Therefore, the present model should be viewed as a first technical step that confirms the feasibility of feature learning from retinal images.

The planned segmentation stage is clinically important because intraretinal fluid, subretinal fluid, and central subfield thickness provide more actionable information than binary

classification. Quantitative measures may help distinguish true stability from temporary suppression of exudation, identify subtle recurrence, and reduce variability between observers. This may be especially relevant in long-term treat-and-extend management, where small structural changes may influence retreatment intervals.

The study also highlights the importance of explainability, data harmonization, and specialist validation. Future models should be tested on larger datasets collected from different optical coherence tomography devices and should include clinician-reviewed annotations. Without external validation, model performance may be overestimated, particularly when training data are limited or come from a narrow imaging distribution.

4. Conclision

This preliminary study demonstrates that artificial intelligence-assisted optical coherence tomography image analysis can provide a promising technical basis for objective assessment of neovascular age-related

macular degeneration. The developed PyTorch-based convolutional neural network achieved 98.04% accuracy after supervised training and data augmentation, suggesting that the model learned structural patterns relevant to pathological retinal classification.

The primary advantage of this study is the development of such a practical framework for establishing a future clinical decision-support system which could decrease subjectivity, help to standardize image interpretation, and facilitate prompt monitoring of disease activity. At this stage, the major drawbacks are the small number of cases, the lack of external validation and the absence of direct lesion localization or volumetric quantification. Moving forward, future investigations should focus on obtaining large, multi-instrument imaging cohorts with clinical expert-annotated "ground truth" labels, volumetric structural delineation, quantitative imaging biomarker computation, interpretable machine learning architectures, and modeling of disease trajectory over time. With prospective clinical validation, these intelligent diagnostic systems have the promise of reducing clinician burden and enabling contextually grounded therapeutic decisions that will help prevent unnecessary decreases in visual acuity.

ლიტერატურა – References – Литература:

1. Schmidt-Erfurth U, et al. AI-based monitoring of retinal fluid in disease activity and under therapy. Progress in Retinal and Eye Research. 2022;86:100972.

2. Sorrentino FS, et al. Application of artificial intelligence models to predict the onset or recurrence of neovascular age-related macular degeneration. Pharmaceuticals. 2024.

3. Hanson RLW, Airody A, Sivaprasad S, et al. Optical coherence tomography imaging biomarkers associated with neovascular age-related macular degeneration: a systematic review. Eye. 2023;37:2438-2453.

4. Metrangolo C, Donati S, et al. OCT biomarkers in neovascular age-related macular degeneration: a narrative review. Journal of Ophthalmology. 2021;2021:9994098.

5. Leingang O, Riedl S, Mai J, et al. Automated deep learning-based AMD detection and staging in real-world OCT datasets: PINNACLE study report 5. Scientific Reports. 2023;13:19545.

6. Mares V, Nehemy MB, Bogunovic H, et al. AI-based support for optical coherence tomography in age-related macular degeneration. International Journal of Retina and Vitreous. 2024;10:31.

7. Schlegl T, et al. Fully automated detection and quantification of macular fluid in OCT using deep learning. Ophthalmology. 2018;125(4):549-558.

8. Pawloff M, et al. Performance of retinal fluid monitoring in OCT imaging by automated deep learning versus human expert grading in neovascular AMD. Eye. 2023;37:3793-3800.

9. Ronneberger O, Fischer P, Brox T. U-Net: Convolutional networks for biomedical image segmentation. Medical Image Computing and Computer-Assisted Intervention. 2015:234-241.

10. G. Chogovadze, G. Surguladze, N. Topuria, and N. Archvadze, "Implementation of a prediction model with cloud services," Bulletin of the Georgian National Academy of Sciences, vol. 14, no. 3, pp. 29–35, 2020.

11.Holz FG, et al. Does real-time artificial intelligence-based visual pathology enhancement of three-dimensional optical coherence tomography scans optimise treatment decision in patients with neovascular age-related macular degeneration? Rationale and design of the RAZORBILL study. British Journal of Ophthalmology. 2023;107(1):96-101.

(Received 16.06.2026)

ხელოვნურ ინტელექტზე დაფუძნებული ოპტიკური კოჰერენტული ტომოგრაფიის გამოსახულებათა ანალიზი ნეოვასკულური ასაკობრივი მაკულარული დეგენერაციის პროგრესირების მონიტორინგისთვის: წინასწარი მიზანშეწონილობის კვლევა

მარიამ სურგულაძე

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

Surguladze.mariam24@gtu.ge

რეზიუმე

ნეოვასკულური ასაკობრივი მაკულარული დეგენერაცია ბადურის პროგრესირებად დაავადებას წარმოადგენს. თავდაპირველად ბადურაზე ანატომიური ცვლილებები ვითარდება,

რასაც შემდგომ თან ახლავს მხედველობის დარღვევის სუბიექტური სიმპტომები. აქედან გამომდინარე, იგი საჭიროებს ობიექტურ სტრუქტურულ მონიტორინგს. მოცემული ნაშრომი წარმოადგენს ოპტიკური კოჰერენტული ტომოგრაფიის გამოსახულებათა ანალიზისთვის ხელოვნურ ინტელექტზე (AI) დაფუძნებული სამუშაო პროცესის წინასწარ მიზანშეწონილობის კვლევას. შემუშავდა გადაწყვეტილების მიღების მხარდაჭერის ახალი მოდულური სტრუქტურა, რომელიც შედგება პრეზენტაციის, ლოგიკური დასკვნისა (inference) და ტრენინგ-მენეჯმენტის დონეებისგან. მოცემულ კვლევაში, PyTorch-ის კონვოლუციური ნეირონული ქსელი გადამზადდა 102 ბალანსირებული გამოსახულების მეშვეობით – გამოყენებულ იქნა 51 ნორმალური და 51 პათოლოგიური გამოსახულება. ყველა გამოსახულება დამუშავდა ნაცრისფერ ფერებში (gray scale), შეიცვალა მათი ზომა, ჩატარდა ნორმალიზაცია და აუგმენტაცია როტაციის, ჰორიზონტალური არეკვლისა და სიკაშკაშის ან კონტრასტის შეცვლის გზით. სიზუსტე საწყის ეტაპზე (baseline) შეადგენდა 51.00%-ს, ხოლო კონტროლირებადი სწავლების (supervised training) და აუგმენტაციის შემდგომმა სიზუსტემ, შესაბამისად, 90.20% და 98.04% შეადგინა. კვლევის შედეგები მიუთითებს, რომ მოდელს შესწევს უნარი შეისწავლოს ბადურის სტრუქტურული პატერნები და შექმნას ტექნიკური საფუძველი მომავალში მოცულობითი ბიომარკერების ექსტრაქციისა და პროგრესირების გრძივი (longitudinal) მონიტორინგისთვის.

(სტატია მიღებულია 30.06.2026)

АНАЛИЗ ИЗОБРАЖЕНИЙ ОПТИЧЕСКОЙ КОГЕРЕНТНОЙ ТОМОГРАФИИ НА ОСНОВЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА ДЛЯ МОНИТОРИНГА ПРОГРЕССИРОВАНИЯ НЕОВАСКУЛЯРНОЙ ВОЗРАСТНОЙ МАКУЛЯРНОЙ ДЕГЕНЕРАЦИИ: ПИЛОТНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ

Сургуладзе М.

Грузинский Технический Университет

Surguladze.mariam24@gtu.ge

Резюме

Неоваскулярная возрастная макулярная дегенерация является прогрессирующим заболеванием сетчатки глаза. Патологический процесс манифестирует развитием анатомических изменений сетчатки, за которыми следует появление субъективных нарушений зрительных функций, что актуализирует необходимость объективного структурного мониторинга. В настоящей работе оценивается принципиальная возможность применения алгоритма на основе искусственного интеллекта (ИИ) для анализа изображений оптической когерентной томографии. Авторами предложена новая модульная архитектура системы поддержки принятия решений, включающая три уровня: представление данных, логический вывод (инференс) и управление процессом обучения. В рамках исследования осуществлено обучение сверточной нейронной сети на базе библиотеки PyTorch с использованием сбалансированной выборки из 102 изображений (51 — в норме, 51 — с признаками патологии). Все исходные снимки были преобразованы в оттенки серого, масштабированы, нормализованы и аугментированы путем ротации, зеркального отображения по горизонтали, а также коррекции яркости и контрастности. Исходная точность классификации (baseline) составила 51,00%, тогда как после проведения обучения с учителем (supervised training) и последующей аугментации данных данный показатель достиг 90,20% и 98,04% соответственно. Полученные результаты свидетельствуют о способности модели эффективно распознавать структурные паттерны сетчатки, что формирует технологическую основу для последующего автоматизированного выделения волюметрических биомаркеров и продольного (лонгитюдного) мониторинга динамики заболевания.

(Поступила 30.06.2026)

ვენტილაცია და მისი საშუალებით ჰაერისა და ტემპერატურის დანახარჯების განსაზღვრა

გურამ მურჯიკნელი, იზოლდა ყურაშვილი,
მარინე ქოზაშვილი, თამარ ქოზაშვილი
საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი
gurami.murjikneli@gtu.ge, kurashviliizolda02@gtu ge
kozashvilimarine@gmail.com, kozashvili.t@gtu.ge

რეზიუმე

განხილულია სხვადასხვა ტიპი სათავსოებში არსებული გადამუშავებული ჰაერის გასუფთავების მეთოდები ვენტილაციის საშუალებით. კერძოდ, ვენტილაცია გვაძლევს საშუალებას დაბინძურებული ჰაერი სათავსოში შევცვალოთ სუფთა გარეშე ჰაერით. მისი მიზანია გაიწმინდოს ჰაერი მტვრის, ნახშირორჟანგის, ტენისა და სხვა მავნე ნივთიერებებისაგან. მისცეს მას საჭირო ტენიანობა და ტემპერატურა. ხარისხიანი ვენტილაცია უზრუნველყოფს სათავსოში არსებული ჰაერის როგორც ჯანსაღ მიკროკლიმატს, ისე ენერგოეფექტურობას. ამ მიზნით გამოიყენება ბუნებრივი, მექანიკური, (ხელოვნური) და სხვა ტიპის ვენტილაციები. ნაშრომში განხილულ საკითხებს შორის უნდა აღინიშნოს სათავსოში შეტანილი ჰაერი, როგორც სავენტილაციო სისტემის მთავარი პარამეტრი. მნიშვნელოვანია ასევე შეტანილი ჰაერის ტემპერატურა, აგრეთვე როგორც სავენტილაციო სისტემის ერთ-ერთი ძირითადი პარამეტრი.

საკვანძო სიტყვები: ვენტილაცია. ჰაერცვლა. სათავსო. მექანიკური ვენტილაცია. ბუნებრივი ვენტილაცია.

1. შესავალი

ვენტილაციის საშუალებით ჰაერის გაწმენდა გულისხმობს სხვადასხვა სათავსოში არსებული დაბინძურებული ჰაერის გაწმენდას ვენტილაციით.

ვენტილაცია იზომება კუბური მეტრებით საათში ($მ^3$/სთ) და მისთვის სარგებლობენ შემდეგი ნორმატივებით:

ა) ადამიანთა რაოდენობის მიხედვით - თითოეულ მაცხოვრებელზე გამოიყენება ჰაერი არანაკლებ 30 $მ^3$/სთ;

ბ) ფართობის მიხედვით გამოიყენება - მინიმუმ 3 $მ^3$/სთ სუფთა ჰაერი საცხოვრებელი ფართობის თითოეულ კვადრატულ მეტრზე.

ჰაერცვლის ჯერადობა გამოითვლება ვენტილაციის მოცულობის ფარდობით სათავსოს მოცულობასთან. ჰაერცვლით ხდება შესატანი და გამოსატანი სისტემების ეფექტურობის დახასიათება. კარგი ჰაერცვლა განსაზღვრავს ვენტილაციის კარგ მუშაობას, ხოლო ცუდი ჰაერცვლა კი ესაა პრაქტიკულად სუფთა ჰაერის უკმარისობა.

ჰაერცვლის გათვლა სათავსოში შეიძლება განხორციელდეს რამდენიმენაირად:

ა) ნორმების (ჯერადობის) მიხედვით;

ბ) ადამიანების მიხედვით;

გ) მავნებლების მოცილების მიხედვით.

ჰაერცვლის ნორმები წარმოადგენს ცხრილებს სხვადსხვა ტიპის სათავსოებისათვის და ჰაერცვლის შეტანისა და გამოტანის მიხედვით.

მოცემული სათავსოსათვის ჰაერცვლის გაანგარიშება ადამიანების მიხედვით დაიყვანება მათი რაოდენობის დათვლაზე სათავსოში, ჰაერის დანახარჯის განსაზღვრაზე თითოეულ ადამიანზე და ჰაერის ამ დანახარჯების შეჯამებაზე.

ჰაერცვლის გათვლა მავნებლების მოცილებაზე გამოიყენება წარმოებაში, სადაც სათავსოებში მავნებელი ნითიერებებია. მაგრამ შეიძლება აგრეთვე საჭირო იყოს გათვლა ჭარბი ტენიანობის მოცილებაზე.

ჰაერცვლა არის ჰაერის მოძრაობა სათავსოში, რომელიც მიმართულია გადამუშავებული ჰაერის გამოცვლაზე სუფთა გარეშე ჰაერით.

ვენტილაციის ძირითად ტიპებს ჰაერის ცირკულაციის მიხედვით განეკუთვნება: ბუნებრივი და მექანიკური (ხელოვნური) სახეები.

2. ძირითადი ნაწილი

ბუნებრივი ვენტილაცია (ნახ. 1) არის ჰაერცვლა რომელიც მიმდინარეობს ელექტრონული ხელსაწყოების გარეშე და დამყარებულია ტემპერატურებისა და წნევების სხვაობაზე, აგრეთვე ქარის მოქმედებაზე. ის უზრუნველყოფს სუფთა ჰაერის შეტანას ფანჯრებიდან, სარქველებიდან და ნამუშევარი ჰაერის მოცილებას გამოსატანი არხებიმდან.



ნახ. 1. ბუნებრივი ვენტილაცია

მექანიკური ვენტილაცია (ნახ. 2) არის ჰაერცვლის იძულებითი სისტემა, რომელიც მართავს ჰაერის მოძრაობას ელექტრული მოწყობილობით (ვენტილატორებით, ძრავებით), მიუხედავად ამინდის პირობებისა. ის უზრუნველყოფს სუფთა ჰაერის მიწოდებას და ნამუშევარი ჰაერის მოცილებას, აგრეთვე იძლევა საშუალებას გაიფილტროს, გაცხელდეს, ან გაგრილდეს ჰაერი სათავსოში.



ნახ. 2. მექანიკური ვენტილაცია

შეტანილი ჰაერის დანახარჯები. შეტანილი ჰაერის სავენტილაციო დანახარჯები (მოცულობა, $მ^3$/სთ) არის შენობის ვენტილაციის სისტემის მთავარი პარამეტრი. იგი დამოკიდებულია სანიტარულ ნორმებზე, სათავსოს ფართობზე (ოთახში მყოფ ადამიანთა რაოდენობაზე) და თბოსიჭარბეზე. ამ შემთხვევაში მთავარი ამოცანაა უზრუნველვყოთ სათავსოში უხიფათო კომფორტული მიკროკლიმატის შექმნა.

ქვემოთ მოცემულია შეტანილი ჰაერის გათვლის ოთხი ძირითადი მეთოდი:

1) ***სანიტარულ - ჰიგიენური ნორმების მიხედვით*** (ადამიანების მიხედვით). გათვლა ხდება ადამიანების რაოდენობის მიხედვით სათავსოში:

ა) ფორმულა $L = N^*L_{ნორმ}$;

ბ) შეტანილი ჰაერის დანახარჯი ($მ^3$/სთ);

გ) N – ადამიანების რაოდენობა სათავსოში;

დ) $L_{ნორმ}$ – დანახარჯის ნორმა 1 ადამიანზე (ნორმების მიხედვით საცხოვრებელი სათავსოებისათვის – არანაკლებ 30 $მ^3$/სთ, ოფისებისათვის – 40-60 $მ^3$/სთ);

2) სათავსოს ფართობის მიხედვით (ჰაერცვლადობის ჯერადობა):

უნივერსალური მეთოდი ოთახებისათვის, სადაც ადამიანთა რაოდენობა ოთახებისთვის არაა მუდმივი:

ა) ფორმულა $L = S^*H^*n$;

ბ) S – სათავსოს ფართობი ($მ^2$);

გ) H – ჭერის სიმაღლე;

დ) n – ჰაერცვლადობის ნორმატული ჯერადობა (ჰაერცვლადობის სრული განახლების რაოდენობა საათში). საცხოვრებელი ოთახებისთვის ნორმა შეადგენს n=1, სამზარეულოებისთვის და სანიტარული კვანძებისათვის კი $n = (3 – 10)$;

3) თბოსიჭარბის მიხედვით (თუ არის სითბოს ძლიერი წყაროები);

ეს მეთოდი გამოიყენება სათავსოების გაცივებისათვის ან სითბოს კომპენსაციისათვის მოწყობილობებისაგან და მზის რადიაციისაგან.:

ა) ფორმულა: $L = \frac{3,6*Q_{ჭარბ}}{p*c*\Delta t}$;

ბ) $Q_{ჭარბ}$ – ჭარბი სითბო სათავსოში (ვტ);

გ) p – ჰაერის სიმკვრივე ($\approx$ 1,2 კგ/$მ^3$ ნორმალური პირობების დროს);

დ) c – ჰაერის კუთრი სითბოტევადობა ($\approx$ 1005 ჯ/კ $*$ °C);

ე) Δt – ტემპერატურათა სხვაობაა მოცილებულ და შეტანილ ჰაერს შორის (ჩვეულებრივ 2 – 5 °C);

4) მავნებლებისა და გაზების მიხედვით

გამოიყენება წარმოებაში, ლაბორატორიებში ან ქიმიის გამოყენებისას.

ა) ფორმულა: $L = \frac{G}{z_d - z_0}$;

ბ) G - მავნებელი ნივთიერებების მასიური დანახარჯი (გ/სთ);

გ) z_d - მავნებელი ნივთიერებების დასაშვები კონცენტრაცია (გ/$მ^3$);

დ) z_0 - ფონური კონცენტრაცია შეტანილ ჰაერში (გ/$მ^3$);

პარამეტრების განსაზღვრის პროექტირებისას ბაზირება ხდება უდიდეს მიღებულ მნიშვნელობაზე. ჰაერგამტარების გამოთვლების შემოწმება და კვეთის შერჩევა შესაძლებელია ჰაერგამტარების ქარხანაში.

თუ ჩვენ გვინდა სისტემის ზუსტი გათვლა კონკრეტული ობიექტისათვის, მაშინ უნდა დავაზუსტოთ: სათავსოს ტიპი (ბინა, ოფისი, საამქრო), ჭერის ფართობი და სიმაღლე; ადამიანების რაოდენობა; განსაკუთრებულ მოწყობილობათა არსებობა.

შეტანილი ჰაერის ტემპერატურის დანახარჯი

შეტანილი ჰაერის ტემპერატურის დანახარჯის გათვლა ხდება კალორიფერის (გამაცივებლის) სიმძლავრის განსაზღვრის მიზნით. ბაზურ ფორმულას სითბოდანაკარგების კომპენსაციისათვის აქვს შემდეგი სახე:

$$t_{შეტ} = t_{მოთ} + \frac{Q_{სათ}}{c.p.L},$$

სადაც:

ა) $t_{შეტ}$ – შეტანილი ჰაერის ტემპერატურა, °C;

ბ) $t_{მოთ}$ – ჰაერის მოთხოვნილი ტემპერატურა სათავსოში, °C;

გ) $Q_{სათ}$ – სათავსოს სითბოდანაკარგები (ან სითბოს სიჭარბე), ვტ;

დ) c - ჰაერის კუთრი სითბოტევადობა, ≈ 1005 ჯ/(კგ* °C);

ე) p – ჰაერის სიმკვრივე ≈ 1,2 კგ/მ^3;

ვ) L – შეტანილი ჰაერის დანახარჯი (მოცულობა), მ^3/სთ ;

გარე ჰაერის გასათბობად შეტანილ დანადგარში საჭირო ტემპერატურამდე ($t_{შეტ}$) - გამოიყენება კალორიფერის სიმძლავრის ფორმულა:

$$Q = L*p*c*(t_{შეტ} - t_{გარე}),$$

სადაც $t_{გარე}$ – არის გარეშე ჰაერის ტემპერატურა;

იმ შემთხვევაში, როცა საჭიროა მოვახდინოთ ზუსტი გაანგარიშება კონკრეტული ობიექტისათვის, უნდა დავაზუსტოთ შემდეგი მონაცემები:

ა) სათავსოს დანიშნულება (ბინა, ოფისი, საამქრო);

ბ) ჭერის ფართობი და სიმაღლე;

გ)ადამიანთა რაოდენობა და მოწყობილობათა სიმრავლე;

დ) სასურველი ტემპერატურა სათავსოში.

3. დასკვნა

ამგვარად, განხილულ ნაშრომში მოცემულია თუ რა პარამეტრებზეა დამოკიდებული სავენტილაციო სისტემის გამართული მუშაობა სათავსოში ჯანსაღი გარემოს შესაქმნელად. სამუშაოში განხილულია შეტანილი ჰაერის დანახარჯების გათვლის ძირითადი მეთოდები. მათ განეკუთვნება: შეტანილი ჰაერის დანახარჯების გათვლა სანიტარულ-ჰიგიენური მეთოდის მიხედვით; სათავსოს ფართობის მიხედვით; თბოსიჭარბის მიხედვით; მავნებლებისა და გაზის მიხედვით. ჩატარებულია შეტანილი ჰაერის ტემპერატურის დანახარჯის გათვლა კალორიფერის სიმძლავრის განსაზღვრის მიზნით.

ლიტერატურა – References – Литература:

1. Glebova E.V. (2005). Industrial Sanitation and Occupational Hygiene: Textbook for Higher Education Institutions. Moscow: Vysshaya Shkola Publishing House. 383 p., (in Russian)

2. Khrustalev B.M., Pilyushenko V.P. (1997). Ventilation. Minsk. 167 p., (in Russian)

3. Sazonov E.V. (1991). Ventilation of Public Buildings. Voronezh. 188 p., (in Russian)

4. Nor E.V., Kolesnik O.A. (2009). Air Exchange Calculation. Ukhta: USTU (Ukhta State Technical University). 39 p., (in Russian)

5. Kamenev P.N., Tertichnik E.I. (2011). Ventilation: Textbook. Moscow: ASV Publishing House. 632 p., (in Russian)

(სტატია მიღებულია 15.06.2026)

VENTILATION AND THE DETERMINATION OF AIRFLOW AND TEMPERATURE REQUIREMENTS THROUGH VENTILATION

Guram Murjikneli, Izolda Kurashvili, Marine Kozashvili,
Tamar Kozashvili
Gurami.murjikneli@gtu.ge | kurashviliizolda02@gtu.ge
kozashvilimarine@gmail.com | kozashvili.t@gtu.ge

Summary

This paper discusses methods of purifying contaminated indoor air in various types of spaces through ventilation systems. In particular, ventilation enables the replacement of polluted indoor air with clean outdoor air. Its purpose is to remove dust, carbon dioxide, moisture, and other harmful substances from the air, while providing the required humidity and temperature conditions. Effective ventilation ensures both a healthy indoor microclimate and energy efficiency within the space. To achieve these goals, natural, mechanical (artificial), and other types of ventilation systems are used. Among the issues examined in this study, particular attention is given to the supply airflow rate as one of the main parameters of a ventilation system. The temperature of the supplied air is also considered an important parameter, as it significantly affects the performance and effectiveness of the ventilation system.

(Received 15.06.2026)

ВЕНТИЛЯЦИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ С ЕЕ ПОМОЩЬЮ РАСХОДОВ ВОЗДУХА И ТЕМПЕРАТУРЫ

Мурджикнели Гурам, Курашвили Изольда,
Козашвили Марине, Козашвили Тамара
gurami.murjikneli@gtu.ge, kurashviliizolda02@gtu ge
kozashvilimarine@gmail.com, kozashvili.t@gtu.ge

Резюме

Рассмотрены существующие методы очищения воздуха в помещениях разного типа с помощью вентиляции. В частности, вентиляция дает возможность заменить отработанный воздух в помещении внешним чистым воздухом. Ее цедь - очистить воздух от пыли, углекислоты, влажности и других вредных веществ, дать ему необходимую влажность и температуру. Качественная вентиляция обеспечивает для воздуха в помещении как здоровый милроклимат, так и энергоэффективность. С этой целью используется естественная, механическая (искусственная) и другие типы вентиляции. В рассмотренных вопросах работы надо отметить приточный воздух, как основной параметр системы вентиляции. Значительным является также температура приточного воздуха, которая также является основным параметром вентиляционной системы.

(Поступила 15.06.2026)

პროფესორ თამაზ შეროზიას ხსოვნა (18.03.1947 – 22.10.2025)



თამაზ შეროზია – ტექნიკის მეცნიერებათა კანდიდატი ინფორმატიკაში, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის პროფესორი, სტუ–ს „მართვის ავტომატიზებული სისტემების“ კათედრის ემერიტუსი პროფესორი, დისციპლინების: „მართვის ავტომატიზებული სისტემების დაპროექტების თეორიული საფუძვლები“, „საწარმოო პროცესების ავტომატიზაცია“, „ბიზნესპროცესების მენეჯმენტის ავტომატიზაციის საფუძვლები“, „შესავალი ორგანიზაციული მენეჯმენტის ფუნქციების ალგორითმიზაციაში“ და სხვ. წამყვანი პროფესორი. მრავალი წიგნისა და სამეცნიერო ნაშრომის ავტორი. მართვის ავტომატიზებული სისტემების კათედრის თანამშრომელი 1971 წლიდან, პრინციპული, ერთგული და გულისხმიერი კოლეგა და მეგობარი. იგი იყო დავით აღმაშენებლის ჩოხოსანთა კავშირის („ჩოხოსნები–1973“-ის) თანადამფუძნებელი.

ბატონი თამაზ შეროზიაა დაიბადა 1947 წლის 18 მარტს ქ. თბილისში. საშუალო სკოლის წარჩინებით დამთავრებისთანვე, 1964 წელს ჩაირიცხა საქართველოს პოლიტექნიკური ინსტიტუტის (სპი) ავტომატიკისა და გამოთვლითი ტექნიკის ფაკულტეტზე „ელექტრონული გამომთვლელი მანქანების“ სპეციალობით, რომელიც დაამთავრა 1968 წელს (გოჩა ჩოგოვაძის ხელმძღვანელობით დაიცვა სადიპლომო ნაშრომი) ინჟინერ-ელექტრიკოსოს კვალიფიკაციით. იყო მაღალკვალიფიციური პრაქტიკოსი მეცნიერი საწარმოო პროცესების მართვის და ავტომატიზაციის საკითხებში.

სპი-ში მართვის ავტომატიზებული სისტემების კათედრის შექმნასთან ერთად (1971) იგი მიწვეული იყო ასისტენტად პროფ. გ. ჩოგოვაძის მიერ და კითხულობდა ლექციებს როგორც გამოთვლითი ტექნიკის ფაკულტეტზე, ასევე სპი-ის სხვა ფაკულტეტებზე, ავტომატიზაციის და კომპიუტერული ტექნოლოგიების გამოყენების თემატიკით. მისი საკანდიდატო დისერტაცია ეხებოდა თემას „საწარმოო პროცესების ოპერატიული მართვის ავტომატიზებული სისტემის დაპროექტება“, რომელიც წარმატებით დაიცვა 1978 წელს.

ბატონი თამაზი „მართვის ავტომატიზებული სისტემების“ კათედრაზე მუშაობდა 1971 წლიდან 2022 წლამდე, იყო ასისტენტი, დოცენტი და პროფესორი, შემდეგ მას მიანიჭეს ემერიტუსი პროფესორის სტატუსი და კვლავ აგრძელებდა სტუდენტებთან აქტიურ მუშაობას, სიცოცხლის ბოლომდე.

პროფესორი თ. შეროზია თავის ცხოვრების შინაარსიან წლებს უკავშირებს ახალგაზრდობის განათლებისა და კვალიფიკაციის ამაღლების, მენეჯმენტის ავტომატიზებული სისტემების

დაპროეტების პროცესების სრულყოფას, ტექნიკისა და ტექნოლოგიების ახალი მეცნიერული მიღწევებისა და დანერგვის საკითხებში. მის კალამს ეკუთვნის რამდენიმე სახელმძღვანელო და 50–ზე მეტი სამეცნიერო სტატია, აქტიურად მონაწილეობდა საერთაშორისო სიმპოზიუმებსა და კონფერენციებში. იყო არაერთი წარმატებული დოქტორანტის და მაგისტრანტის სამეცნიერო ხელმძღვანელი. უდავოდ დიდია პროფესორ თ. შეროზიას დამსახურება, როგორც ინჟინრისა და პედაგოგის.

საჭიროა იმის გახსენებაც, რომ ბატონი თამაზ შეროზია გახლდათ არასამთავრებო ორგანიზაციის დავით აღმაშენებლის ჩოხოსანთა კავშირის („ჩოხოსნები 1973“-ის) ერთ-ერთი თანადამფუძნებელი და აქტიური წევრი. მისი საყვარელი ფრაზა იყო - „სამშობლოს საქმე სჭირდება და არა ხმაური“.



ფოტო-2: თ. შეროზია ჩოხოსანთა ერთ-ერთ შეკრებაზე

სამართლიანი, ჭეშმარიტად ქრისტიანი და მაღალჰუმანური პრინციპების პიროვნება, ბატონი თამაზი იყო შესანიშნავი მებაღეობის კარგად მცოდნე „აგრომეურნე“ კაცი, მის მცხეთის აგარაკზე და თბილისის ბინაშიც (პეკინის-1) ხშირად ნახავდით ზამთარში ფანჯრის რაფიდან „სარის“ ცოცხალ კიტრის პიკულებს. უყვარდა ქართული სუფრა, ნადიმობა და თამადობა, გიტარაზეც გვიმღეროდა ქართულ სიმღერებს - თავისებურად, ხმის ვიბრაციის ორიგინალურ სტილში. ფიზიკურად დიდი და ძლიერი კაცის პირობაზე მეტად თბილი და მოსიყვარულე პიროვნება გახლდათ, არავის აწყენინებდა.

სამწუხაროა, რომ ბატონმა თამაზ შეროზიამ სიცოცხლის ბოლომდე ვერ (ან არ) მოახერხა ოჯახის შექმნა და მემკვიდრის დატოვება (მიუხედავად ბატონი გოჩა ჩოგოვაძის და მისი ახლო მეგობრების არაერთი მცდელობისა). 100-ზე მეტი ქალბატონი იყო მასზე შეყვარებული (თბილისში, სოხუმსა თუ მოსკოვში), მაგრამ მისი ლოგიკით, იგი ვერ წყვეტდა, რადგან 99-ის წყენა არ უნდოდა).

წავიდა ჩვენგან თავის საქმეზე უსაზღვროდ შეყვარებული ადამიანი, სამაგალითო ქართული ოჯახის წარმომადგენელი, ჭეშმარიტად პატრიოტი და ღირსეული მამულიშვილი, ეროვნული ტექნიკური ინტელიგენციის შესანიშნავი პიროვნება, რომლის სახელს დიდხანს არ დაივიწყებს მისი მადლიერი შთამომავლობა (დისშვილები და შვილთაშვილები), მეგობრები, კოლეგები და მისი აღზრდილი სტუდენტები.

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი,
ინფორმატიკისა და მართვის სისტემების ფაკულტეტი,
მართვის ავტომატიზებული სისტემების კათედრა,
ჟურნალის რედკოლეგია

ავტორთა საყურადღებოდ !

- ჟურნალი არის საერთაშორისო ინდექსით, რეფერირებადი (რეზიუმეებით სამ ენაზე: ქართული, რუსული, ინგლისური);
- *გამოიცემა პერიოდულად: მაისი, დეკემბერი;*
- სტატიასთან ერთად საჭიროა: 1-რეცენზია (რედკოლეგიის წევრის), სხვა რეცენზენტის-თვის CV და მისი ამ თემატიკის 2 ნაშრომის ქსეროასლი (სატიტულო გვერდითა და სარჩევით);
- *ყოველი სამეცნიერო სტატია ჟურნალში გამოქვეყნებამდე მოწმდება პლაგიატზე.*
- სტატიები ქვეყნდება ქართულ, რუსულ ან ინგლისურ ენებზე;
- *სტატიების რეზიუმეები (ინგლისური და ქართულ ენებზე) ქვეყნდება პოლითემატურ ქართულ რეფერატულ ჟურნალში (ტექინფორმი)*
- მინიჭებული აქვს ***DOI (Digital Object Identifier)*** ციფრული ობიექტის იდენტეფიკატორი;
- სტატიის შინაარსის სტრუქტურა: სათაური (Sylfaen=16-B), ავტორები და უნივერსიტეტის დასახელება (Sylfaen=11), ელ-მისამართები; რეზიუმე სტატიის ენაზე, საკვანძო სიტყვები. 1. შესავალი: აქტუალობა და ამოცანის დასმა, 2. ძირითადი ნაწილი, 3. დასკვნა, 4. ლიტერატურა;
- რეზიუმე ინგლისურ და რუსულ ენებზე ***(მინიმუმ 7-10 სტრიქონი);***
- ტექნიკური მოთხოვნები: MsWord, A4-ფორმატი, ტექსტის შრიფტი Sylfaen=11, სტრიქონ-შუა ინტერვალი 1,15, რუსულ-ინგლისური TimesNewRoman. არეები 2,5 სმ. (ზემოთ/ქვემოთ) და 2 სმ – მარცხენა/ მარჯვენა, გრაფიკული მასალა – JPG ფაილი;
- სტატია (4 – 12 გვერდი), 1-ეგზემპლარი გამობეჭდილი, CD.
  სტატიის გადმოგზავნა შეიძლება **ელ-ფოსტით: g.surguladze@gtu.ge** (CD-ის გარეშე);
- საჭიროა ავტორთა საკონტაქტო ტელეფონები და ელ-მისამართები.
- სტატიების შრომები **იბეჭდება ავტორთა ხარჯით (სტუ-ის საბანკო ანგარიშზე გადარიცხვით)**. თანხა დამოკიდებულია გვერდების რაოდენობაზე.

„მართვის ავტომატიზებული სისტემების"
შრომების გამომცემლობა

TO AUTHOR'S ATTENTION!

- Journal has international index, is abstracted (resumes are in three languages: Georgian, Russian, English).
- Periodically published: May, December.
- Together with article the following is required: A Review, reviewer's CV and copies of own two publications (with cover page and table of contents).
- Every scientific article is checked for plagiarism before publication in a journal.
- Articles are published in Georgian, Russian or English languages.
- Abstracts of articles (in English and Georgian) are published in a multi-thematic Georgian abstract journal (Techinform)
- Has a DOI (Digital Object Identifier)
- Article contents: Title (center, Times New Roman-12pt, Lit Mt-11pt, B), Authors', coauthors' and name of University (center, Times New Roman -11pt, Lit.Nusx-11pt), Summary in article's language, Keywords. 1. Introduction, 2. Main part, 3. Conclusion, 4. Literature. Summary in Russian and English (or in Georgian, if the article is in Russian or English) languages (At least 7-10 lines).
- Technical requirements: MS Word, A4-Format, Font - Lit-Nusx-11 for Georgian, Times New Roman-11pt for Russian-English, 1,5-Line spacing. Page Layout 2,5 pt, Graphic Material - JPG, GIF or BMP files.
- Article (4 – 12 pages), Single printed copy and single electronical copy on CD.
- The article can be sent via e-mail: g.surguladze@gtu.ge
- Authors' contact phone and e_Mail.
- The articles are printed at the expense of the authors (by transfer to the university's bank Account). The amount depends on the number of pages.

Publishing House of
"Automated Control Systems"

იბეჭდება ავტორთა მიერ წარმოდგენილი სახით

კომპიუტერული უზრუნველყოფა: გ. სურგულაძე, გ. ნარეშელაშვილი,
ლ. პეტრიაშვილი, გ. დალაქიშვილი

გადაეცა წარმოებას 21.07.2026 წ. ქაღალდის ზომა 60X84 1/8.
პირობითი ნაბეჭდი თაბახი 6.85. ტირაჟი 50 ეგზ.
= = = = = = = = = =
იბეჭდება ავტორთა ხარჯით

სტუ-ს „IT-კონსალტინგის სამეცნირო ცენტრი",
თბილისი, კოსტავას 77

