

ISSN: 2224-5227 (Print)  
ISSN: 2518-1483 (Online)

**ACADEMIC SCIENTIFIC  
JOURNAL OF COMPUTER SCIENCE**

**№1  
2026**

ISSN 2518-1726 (Online),  
ISSN 1991-346X (Print)



CENTRAL ASIAN ACADEMIC  
RESEARCH CENTER



**ACADEMIC SCIENTIFIC  
JOURNAL OF COMPUTER  
SCIENCE**

**1 (357)**

**JANUARY – MARCH 2026**

**PUBLISHED SINCE JANUARY 1963  
PUBLISHED 4 TIMES A YEAR**

ALMATY, NAS RK

#### Chief Editor:

**MUTANOV Galimkair Mutanovich**, doctor of technical sciences, professor, academician of NAS RK, (Almaty, Kazakhstan), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6506682964>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/1423665>

#### EDITORIAL BOARD:

**KALIMOLDAYEV Maksat Nuradilovich**, (Deputy Editor-in-Chief), Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor, Academician of NAS RK, Advisor to the General Director of the Institute of Information and Computing Technologies of the CS MES RK, Head of the Laboratory (Almaty, Kazakhstan), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=56153126500>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/2428551>

**MAMYRBAEV Orken Zhumazhanovich**, (Academic Secretary), PhD in Information Systems, Deputy Director for Science of the Institute of Information and Computing Technologies CS MES RK (Almaty, Kazakhstan), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=55967630400>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/1774027>

**BAIGUNCHEKOV Zhumadil Zhanabaevich**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Academician of NAS RK, Institute of Cybernetics and Information Technologies, Department of Applied Mechanics and Engineering Graphics, Satbayev University (Almaty, Kazakhstan), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6506823633>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/1923423>

**WOICIK Waldemar**, Doctor of Technical Sciences (Phys.-Math.), Professor of the Lublin University of Technology (Lublin, Poland), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7005121594>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/678586>

**SMOLARJ Andrej**, Associate Professor Faculty of Electronics, Lublin polytechnic university (Lublin, Poland), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=56249263000>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/1268523>

**KEILAN Alimkhan**, Doctor of Technical Sciences, Professor (Doctor of science (Japan)), chief researcher of Institute of Information and Computational Technologies CS MES RK (Almaty, Kazakhstan), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=8701101900>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/1436451>

**KHAIROVA Nina**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Chief Researcher of the Institute of Information and Computational Technologies CS MES RK (Almaty, Kazakhstan), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=37461441200>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/1768515>

**OTMAN Mohamed**, PhD, Professor of Computer Science Department of Communication Technology and Networks, Putra University Malaysia (Selangor, Malaysia), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=56036884700>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/747649>

**NYSANBAYEVA Saule Yerkebulanovna**, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Senior Researcher of the Institute of Information and Computing Technologies CS MES RK (Almaty, Kazakhstan), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=55453992600>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/3802041>

**USATOVA Olga Alexandrovna**, PhD, Associate Professor, Chief Scientific Secretary of the Institute of Information and Computing Technologies of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan (Almaty, Kazakhstan), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=57204581062>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/JCO-3058-2023>

**KAPALOVA Nursulu Aldazharovna**, Candidate of Technical Sciences, Head of the Laboratory cybersecurity, Institute of Information and Computing Technologies CS MES RK (Almaty, Kazakhstan), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=57191242124>,

**KOVALYOV Alexander Mikhailovich**, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Academician of the National Academy of Sciences of Ukraine, Institute of Applied Mathematics and Mechanics (Donetsk, Ukraine), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7202799321>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/38481396>

**MIKHALEVICH Alexander Alexandrovich**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Academician of the National Academy of Sciences of Belarus (Minsk, Belarus), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7004159952>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/46249977>

**TIGHINEANU Ion Mihailovich**, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Academician, President of the Academy of Sciences of Moldova, Technical University of Moldova (Chisinau, Moldova), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7006315935>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/524462>

---

#### Academic Scientific Journal of Computer Science

ISSN 2518-1726 (Online),

ISSN 1991-346X (Print)

Owner: «Central Asian Academic Research Center» LLP (Almaty).

Certificate № **KZ77VPY00121154** on the re-registration of the periodical printed and online publication of the information agency, issued on **05.06.2025** by the Republican State Institution «Information Committee» of the Ministry of Culture and Information of the Republic of Kazakhstan

Subject area: *information and communication technologies*.

Currently: *included in the list of journals recommended by the CCSES MSHE RK in the direction of «Information and communication technologies».*

Periodicity: *4 times a year.*

<http://www.physico-mathematical.kz/index.php/en/>

© «Central Asian Academic Research Center» LLP, 2026

#### БАС РЕДАКТОР:

**МУТАНОВ Ғалымқайыр Мұтанұлы**, техника ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі, (Алматы, Қазақстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6506682964>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/1423665>

#### РЕДАКЦИЯ АЛҚАСЫ:

**КАЛИМОЛДАЕВ Мақсат Нұрәділұлы**, (бас редактордың орынбасары), физика-математика ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі, ҚР ҒЖБМ ҒК «Ақпараттық және есептеу технологиялары институты» бас директорының кеңесшісі, зертхана меңгерушісі (Алматы, Қазақстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=56153126500>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/2428551>

**МАМЫРБАЕВ Өркен Жұмажанұлы** (ғалым хатшы), Ақпараттық жүйелер саласындағы техника ғылымдарының (PhD) докторы, ҚР ҒЖБМ ҒК «Ақпараттық және есептеу технологиялары институты» директорының ғылым жөніндегі орынбасары (Алматы, Қазақстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=55967630400>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/1774027>

**БАЙГУНЧЕКОВ Жұмаділ Жаңабайұлы**, техника ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі, Кибернетика және ақпараттық технологиялар институты, Қолданбалы механика және инженерлік графика кафедрасы, Сәтбаев университеті (Алматы, Қазақстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6506823633>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/1923423>

**ВОЙЧИК Вальдемар**, техника ғылымдарының докторы (физ-мат), Люблин технологиялық университетінің профессоры (Люблин, Польша), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7005121594>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/678586>

**СМОЛАРЖ Анджей**, Люблин политехникалық университетінің электроника факультетінің доценті (Люблин, Польша), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=56249263000>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/1268523>

**КЕЙЛАН Әлімхан**, техника ғылымдарының докторы, профессор (ғылым докторы (Жапония)), ҚР ҒЖБМ ҒК «Ақпараттық және есептеу технологиялары институтының» бас ғылыми қызметкері (Алматы, Қазақстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=8701101900>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/1436451>

**ХАЙРОВА Нина**, техника ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҒЖБМ ҒК «Ақпараттық және есептеу технологиялары институтының» бас ғылыми қызметкері (Алматы, Қазақстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=37461441200>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/1768515>

**ОТМАН Мохаммед**, PhD, Информатика, Коммуникациялық технологиялар және желілер кафедрасының профессоры, Путра университеті Малайзия (Селангор, Малайзия), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=56036884700>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/747649>

**НЫСАНБАЕВА Сауле Еркебұланқызы**, техника ғылымдарының докторы, доцент, ҚР ҒЖБМ ҒК «Ақпараттық және есептеу технологиялары институтының» аға ғылыми қызметкері (Алматы, Қазақстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=55453992600>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/3802041>

**УСАТОВА Ольга Александровна**, PhD, қауымдастырылған профессор, ҚР ҒЖБМ "Ақпараттық және есептеу технологиялары институтының" бас ғалым хатшысы (Алматы, Қазақстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=57204581062>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/JCO-3058-2023>

**КАПАЛОВА Нұрсұлу Алдажарқызы**, техника ғылымдарының кандидаты, ҚР ҒЖБМ ҒК «Ақпараттық және есептеу технологиялары институты», Киберқауіпсіздік зертханасының меңгерушісі (Алматы, Қазақстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=57191242124>,

**КОВАЛЕВ Александр Михайлович**, физика-математика ғылымдарының докторы, Украина Ұлттық Ғылым академиясының академигі, Қолданбалы математика және механика институты (Донецк, Украина), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7202799321>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/38481396>

**МИХАЛЕВИЧ Александр Александрович**, техника ғылымдарының докторы, профессор, Беларусь Ұлттық Ғылым академиясының академигі (Минск, Беларусь), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7004159952>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/46249977>

**ТИГИНЯНУ Ион Михайлович**, физика-математика ғылымдарының докторы, академик, Молдова Ғылым Академиясының президенті, Молдова техникалық университеті (Кишинев, Молдова), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7006315935>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/524462>

---

**Academic Scientific Journal of Computer Science**

ISSN 2518-1726 (Online),

ISSN 1991-346X (Print)

Меншіктеуші: «Орталық Азия академиялық ғылыми орталығы» ЖШС (Алматы).

Ақпарат агенттігінің мерзімді баспасөз басылымын, ақпарат агенттігін және желілік басылымды қайта есепке қою туралы ҚР Мәдениет және Ақпарат министрлігі «Ақпарат комитеті» Республикалық мемлекеттік мекемесі **05.06.2025** ж. берген № **KZ77VPY00121154** Куәлік.

Тақырыптық бағыты: *ақпараттық-коммуникациялық технологиялар*

Қазіргі уақытта: *«ақпараттық-коммуникациялық технологиялар» бағыты бойынша ҚР БҒМ БҒСБК ұсынған журналдар тізіміне енді.*

Мерзімділігі: *жылына 4 рет.*

<http://www.physico-mathematical.kz/index.php/en/>

© «Орталық Азия академиялық ғылыми орталығы» ЖШС, 2026

### Главный редактор:

**МУТАНОВ Галимканр Мутанович**, доктор технических наук, профессор, академик НАН РК, (Алматы, Казахстан), <https://www.scopus.com/author/detail.uri?authorId=6506682964>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/1423665>

### Редакционная коллегия:

**КАЛИМОЛДАЕВ Максат Нурадилович**, (заместитель главного редактора), доктор физико-математических наук, профессор, академик НАН РК, советник генерального директора «Института информационных и вычислительных технологий» КН МНВО РК, заведующий лабораторией (Алматы, Казахстан), <https://www.scopus.com/author/detail.uri?authorId=56153126500>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/2428551>

**МАМЫРБАЕВ Оркен Жумажанович**, (ученый секретарь), доктор философии (PhD) по специальности «Информационные системы», заместитель директора по науке РГП «Институт информационных и вычислительных технологий» Комитета науки МНВО РК (Алматы, Казахстан), <https://www.scopus.com/author/detail.uri?authorId=55967630400>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/1774027>

**БАЙГУНЧЕКОВ Жумадил Жанабаевич**, доктор технических наук, профессор, академик НАН РК, Институт кибернетики и информационных технологий, кафедра прикладной механики и инженерной графики, Университет Сагпаева (Алматы, Казахстан), <https://www.scopus.com/author/detail.uri?authorId=6506823633>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/1923423>

**ВОЙЧИК Вальдемар**, доктор технических наук (физ.-мат.), профессор Люблинского технологического университета (Люблин, Польша), <https://www.scopus.com/author/detail.uri?authorId=7005121594>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/678586>

**СМОЛАРЖ Анджей**, доцент факультета электроники Люблинского политехнического университета (Люблин, Польша), <https://www.scopus.com/author/detail.uri?authorId=56249263000>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/1268523>

**КЕЙЛАН Алимхан**, доктор технических наук, профессор (Doctor of science (Japan)), главный научный сотрудник РГП «Института информационных и вычислительных технологий» КН МНВО РК (Алматы, Казахстан), <https://www.scopus.com/author/detail.uri?authorId=8701101900>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/1436451>

**ХАЙРОВА Нина**, доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник РГП «Института информационных и вычислительных технологий» КН МНВО РК (Алматы, Казахстан), <https://www.scopus.com/author/detail.uri?authorId=37461441200>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/1768515>

**ОТМАН Мохамед**, доктор философии, профессор компьютерных наук, Департамент коммуникационных технологий и сетей, Университет Путра Малайзия (Селангор, Малайзия), <https://www.scopus.com/author/detail.uri?authorId=56036884700>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/747649>

**НЫСАНБАЕВА Сауле Еркебулановна**, доктор технических наук, доцент, старший научный сотрудник РГП «Института информационных и вычислительных технологий» КН МНВО РК (Алматы, Казахстан), <https://www.scopus.com/author/detail.uri?authorId=55453992600>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/3802041>

**УСАТОВА Ольга Александровна**, PhD, ассоциированный профессор, Главный ученый секретарь «Института информационных и вычислительных технологий» КН МНВО РК (Алматы, Казахстан), <https://www.scopus.com/author/detail.uri?authorId=57204581062>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/JCO-3058-2023>

**КАПАЛОВА Нурсулу Алдажаровна**, кандидат технических наук, заведующий лабораторией кибербезопасности РГП «Института информационных и вычислительных технологий» КН МНВО РК (Алматы, Казахстан), <https://www.scopus.com/author/detail.uri?authorId=57191242124>,

**КОВАЛЕВ Александр Михайлович**, доктор физико-математических наук, академик НАН Украины, Институт прикладной математики и механики (Донецк, Украина), <https://www.scopus.com/author/detail.uri?authorId=7202799321>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/38481396>

**МИХАЛЕВИЧ Александр Александрович**, доктор технических наук, профессор, академик НАН Беларуси (Минск, Беларусь), <https://www.scopus.com/author/detail.uri?authorId=7004159952>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/46249977>

**ТИГИНЯНУ Ион Михайлович**, доктор физико-математических наук, академик, президент Академии наук Молдовы, Технический университет Молдовы (Кишинев, Молдова), <https://www.scopus.com/author/detail.uri?authorId=7006315935>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/524462>

---

**Academic Scientific Journal of Computer Science**

**ISSN 2518-1726 (Online),**

**ISSN 1991-346X (Print)**

Собственник: *ТОО «Центрально-азиатский академический научный центр» (г. Алматы).*

Свидетельство о постановке на переучет периодического печатного издания, информационного агентства и сетевого издания № **KZ77VRY00121154**. Дата выдачи **05.06.2025**

Тематическая направленность: *информационно-коммуникационные технологии.*

В настоящее время: *вошел в список журналов, рекомендованных КОКШВО МНВО РК по направлению «информационно-коммуникационные технологии».*

Периодичность: *4 раза в год.*

<http://www.physico-mathematical.kz/index.php/en/>

© ТОО «Центрально-азиатский академический научный центр», 2026

## CONTENTS

## COMPUTER SCIENCE

<b>Akhmetova S.T., Yunussova A.A., Alisheva S.S., Olzhataeva B.T., Mussirepova E.B.</b> Social network data mining for automated offensive language detection.....	13
<b>Amanov A.N., Kazbekova G.N., Zhunissov N.M., Abibullayeva A.A., Aben A.B.</b> Artificial intelligence-based intrusion detection for DDOS attacks in Software Defined Networking.....	30
<b>Amanzholova S.T., Ussatova O.A., Mutanov G.M., Mukhanov S.B., Aitmukash D.</b> Backend architecture of a hybrid blockchain-based academic credential verification system.....	52
<b>Amirkhanova G.A., Nurgazy T.N., Amirkhanov B.S., Tokhtassyn M.M., Nurgazy N.N.</b> Developing a predictive digital twin for a food product based on Edge ML and IoT sensors.....	73
<b>Bekarystankyzy A., Ussen D., Kassenkhan A., Chinibayev Y.</b> Cold-start in educational recommender systems: classical and LLM-Era strategies.....	91
<b>Bimoldina Zh., Mussiraliyeva Sh., Bagitova K., Tereikovska L.</b> Detection of cyber-propaganda content using machine learning and semantic models....	106
<b>Chezhimbayeva K.S.</b> Forecasting key 5G network KPIs using MLP and LSTM neural network models.....	129
<b>Dauitbayeva A.O., Konyrbaev N.B., Abildayeva Zh.T., Yessirkepova A.U., Karim N.A.</b> Development of an application to optimize the process of employment of graduates.....	148
<b>Dzhsupbekova G., Othman M., Ordabayeva G.</b> Comparative analysis of artificial intelligence algorithms to detect network attacks.....	167
<b>Issakhov A., Orazmoldayev N., Zharkynbek Y., Abylkassymova A.</b> Numerical modeling of the spread of viral infection by airborne droplets in confined spaces.....	182
<b>Kantureeva M., Omarova G.S., Duisen Z.D., Shekerbek A.A., Tulebayev Y.B.</b> Application of machine learning methods in forecasting and optimizing the processes of evacuation of people in high-rise buildings.....	202
<b>Khusain B., Telmanov M., Khusain A.B., Brodskiy A.R., Sass A.S.</b> Digital twin of an integrated emission purification and decarbonization system for thermal units.....	218
<b>Kulakayeva A., Ashurov A., Zhumazhanov B., Daineko Ye., Zylgara A.</b> Algorithm for determining the initial orbital parameters of KazeEOSat-1 for deorbiting.....	236

<b>Mimenbayeva A.B., Turebayeva R.D., Ospanova T.T., Aruova A.B., Naizagarayeva A.A.</b> Development and comparative analysis of machine learning models for urban traffic prediction.....	253
<b>Naumenko V.V., Mukanova Zh.A., Kiseleva O.V., Maintser D.A., Nerezov A.K.</b> The use of real-time polling to improve student academic performance.....	271
<b>Nazyrova A.E., Kaderkeyeva Z.K., Bekmanova G.T., Milosz M., Lamasheva Zh.</b> Transformation of education through digital technologies: advancing student academic performance across learning stages.....	287
<b>Oralbekova D., Mamyrbayev O., Akhmediyarova A., Kassymova D., Alibiyeva Z.</b> Development of a multi-level model for text summarization based on pretrained models.....	316
<b>Orazbayev B.B., Zhumadillayeva A.K., Kurbangalieva N.B., Yessirkessinov R.Zh., Orazbayeva K.N.</b> Synthesis of linguistic models for assessing sulfur quality and fuzzy modeling of the sulfur production process.....	337
<b>Sarsenbayeva A.K., Rakhimova D.R., Shormakova A.N., Mansurova M.E., Adali E.</b> Application of semantic methods in the field of legislation: an intellectual system for analysis of agglutinative texts.....	354
<b>Serek A., Shoiynbek A., Sharipov K., Kuanyshbay D., Mukhametzhano A.</b> Analysis and classification of telephone fraud based on lexical features of speech transcriptions.....	373
<b>Shynzhigit B.B., Balabekova M.O., Amangeldy T.T.</b> Analysis and forecasting of brick product sales using machine learning models.....	393
<b>Tokhayeva A.O., Alzhanov A.K., Nezh Önal, Ziyatbekova G.Z., Begalieva K.B.</b> Formation of students virtualization competencies in higher education based on Proxmox VE.....	412
<b>Tukenova L.M., Auyelbekov O.A., Sapakova S.Z., Sametova A.A., Bostanov E.L.</b> Modelling and optimisation of hybrid power plant operating modes for unmanned aerial vehicles.....	430
<b>Yerimbetova A., Berzhanova U., Daiyrbayeva E., Sakenov B., Sambetbayeva M.</b> Sign language recognition using temporal convolutional network and MediaPipe.....	443
<b>Zhukabayeva T.K., Benkhelifa E., Mardenov Y.M., Baumuratova D., Karabayev N.</b> Decision support for responding to attacks in cyber-physical industrial internet-of-things systems.....	461

## МАЗМҰНЫ

### ИНФОРМАТИКА

<b>Ахметова С.Т., Юнусова А.А., Алишева С.С., Олжатаева Б.Т., Мүсірепова Э.Б.</b> Әлеуметтік желідегі бейәдеп пікірлерді автоматты анықтауда деректерді интеллектуалды талдау.....	13
<b>Аманов А.Н., Казбекова Г.Н., Жунисов Н.М., Абибуллаева А.А., Абен А.Б.</b> Бағдарламалық жасақтамамен анықталған желідегі DDOS шабуылдары үшін жасанды интеллектке негізделген шабуылдарды анықтау.....	30
<b>Аманжолова С.Т., Усатова О.А., Мутанов Г.М., Муханов С.Б., Айтмукаш Д.</b> Гибридтік блокчейнге негізделген академиялық сенімдік деректерді тексеру жүйесінің бекендік архитектурасы.....	52
<b>Амирханова Г.А., Нұрғазы Т.Н., Амирханов Б.С., Нұрғазы Н. Н.</b> EDGE ML және IOT сенсорлары негізінде азық-түлік өнімінің предиктивті цифрлық егізін әзірлеу.....	73
<b>Бекарыстанқызы А., Үсен Д., Қасенхан А., Чинибаев Е.</b> Білім беру саласындағы ұсынымдық жүйелеріндегі «Cold-start» мәселесі: классикалық әдістер және LLM дәуірінің стратегиялары.....	91
<b>Бимолдина Ж.А., Мусиралиева Ш.Ж., Багитова К.Б., Терейковская Л.З</b> Кибернасихаттық контентті анықтау үшін машиналық оқыту және семантикалық модельдер қолдану.....	106
<b>Чечимбаева К.С.</b> MLP және LSTM нейрондық желі модельдерін қолдана отырып, 5G желісінің негізгі KPI-лерін болжау.....	129
<b>Дәуітбаева А.О., Қоңырбаев Н.Б., Әбілдаева Ж.Т., Есіркепова А.У., Кәрім Н.Ә.</b> Бітіруші түлектердің жұмысқа орналастыру процесін оңтайландыру үшін қосымша әзірлеу.....	148
<b>Джусупбекова Г., Othman M., Ордабаева Г.</b> Жасанды интеллект алгоритмдерін желілік шабуылдарды анықтау үшін салыстырмалы талдау.....	167
<b>Исахов А.А., Оразмолдаев Н., Жаркынбек Е., Абылкасымова А.</b> Ауа тамшылары арқылы вирустық инфекцияның шектеулі кеңістікте таралуын сандық модельдеу.....	182
<b>Қантүреева М.А., Омарова Г.С., Дүйсен Ж.Д., Шекербек А.Ә., Түлебаев Е.Б.</b> Биік ғимараттардағы адамдарды эвакуациялау процестерін болжау және оңтайландыруда машиналық оқыту әдістерін қолдану.....	202

<b>Хусаин Б., Тельманов М.М., Хусаин А.Б., Бродский А.Р., Сасс А.С.</b> Жылу қондырғыларының шығарындыларын кешенді тазалау және декарбонизациялау жүйесінің цифрлық егізі.....	218
<b>Кулакаева А.Е., Ашуров А.Е., Жумажанов Б.Р., Дайнеко Е.А., Зылғара А.Е.</b> КАZEOSAT-1 ғарыш аппаратының деорбитациясын жүзеге асыру үшін бастапқы орбиталық параметрлерін анықтау алгоритмі.....	236
<b>Мименбаева А.Б., Туребаева А.Д., Оспанова Т.Т., Аруова А.Б., Найзағарасва А.А.</b> Қалалық көлік ағынын болжауға арналған машиналық оқыту модельдерін әзірлеу және салыстырмалы талдау.....	253
<b>Науменко В.В., Муканова Ж.А., Киселева О.В., Майнцер Д.А., Нерезов А.К.</b> Білім алушылардың үлгерімін арттыру үшін real-time сауалнамаларын қолдану.....	271
<b>Назырова А.Е., Кадеркеева З.К., Бекманова Г.Т., Милош М., Ламашева Ж.Б.</b> Цифрлық білім және студенттердің академиялық жетістіктері: деңгейлер бойынша білім беруді дамыту.....	287
<b>Оралбекова Д., Мамырбаев О., Ахмедиярова А., Қасымова Д.З, Алибиева Ж.,</b> Алдын ала оқытылған модельдер негізінде мәтінді резюмелеуге арналған көпдеңгейлі модельді әзірлеу.....	316
<b>Оразбаев Б.Б., Жумадиллаева А.К., Курбанғалиева Н.Б., Оразбаева К.Н.</b> Күкірт сапасын бағалаудың лингвистикалық модельдерін синтездеу және күкіртті өндіру процесін бұлыңғыр модельдеу.....	337
<b>Сарсенбаева А.К., Рахимова Д.Р., Шормакова А.Н., Мансурова М.Е., Адали Э.</b> Семантикалық әдістерді заңнама саласында қолдану: агглютинативті мәтіндерді талдауға арналған интеллектуалды жүйе.....	354
<b>Серек А., Шойынбек А., Шарипов К., Қуанышбай Д., Мухаметжанов А.</b> Сөйлеу транскрипцияларының лексикалық белгілеріне негізделген телефон алаяқтықтарын талдау және жіктеу.....	373
<b>Шынжігіт Б.Б., Балабекова М.О., Амангелді Т.Т.</b> Кірпіш өнімдерін сату көлемдерін машиналық оқытуда талдау және болжамдау.....	393
<b>Тохаева А.О., Альжанов А.К., Nezir Ö., Зиятбекова Г.З., Бегалиева К.Б.</b> PROXMOX VE негізінде жоғары оқу орындарында білім алушыларды виртуалдандыру құзыреттерін қалыптастыру.....	412

**Төкенова Л.М., Әуелбеков О.А., Сапақова С., Саметова А.А., Бостанов Е.Л.**  
Пилотсыз ұшу аппараттарына арналған гибриді электр станцияларының жұмыс режимдерін модельдеу және оңтайландыру.....430

**Еримбетова А.С., Бержанова У.Г., Дайырбаева Э.Н., Сәкенов Б.Е., Самбетбаева М.А.**  
Уақытша конволюциялық желі мен media pipe көмегімен ым тілін тану.....443

**Жукабаева Т.К., Бенхелифа Э., Марденов Е.М., Баумуратова Д., Карабаев Н.**  
Киберфизикалық өнеркәсіптік интернет заттары жүйелеріндегі шабуылдарға әрекет ету кезінде шешім қабылдауды қолдау.....461

## СОДЕРЖАНИЕ

## ИНФОРМАТИКА

<b>Ахметова С.Т., Юнусова А.А., Алишева С.С., Олжатаева Б.Т., Мүсірепова Э.Б.</b> Интеллектуальный анализ данных для автоматического выявления языка ненависти в социальных сетях.....	13
<b>Аманов А.Н., Казбекова Г.Н., Жунисов Н.М., Абибуллаева А.А., Абен А.Б.</b> Обнаружение вторжений на основе искусственного интеллекта для DDoS-атак в программно-определяемых сетях.....	30
<b>Аманжолова С.Т., Усатова О.А., Мутанов Г.М., Муханов С.Б., Айтмукаш Д.</b> Бэкенд-архитектура гибридной системы проверки академических достижений на основе блокчейна.....	52
<b>Амирханова Г.А., Нургазы Т.Н., Амирханов Б.С., Нургазы Н.Н.</b> Разработка предиктивного цифрового двойника пищевого продукта на основе Edge ML и IoT-сенсоров.....	73
<b>Бекарыстанқызы А., Үсен Д., Қасенхан А., Чинибаев Е.</b> Холодный старт в системах рекомендаций в области образования: классические подходы и стратегии эпохи LLM.....	91
<b>Бимолдина Ж.А., Мусиралиева Ш.Ж., Багитова К.Б., Терейковская Л.</b> Использование машинного обучения и семантических моделей для обнаружения киберпропагандистского контента.....	106
<b>Чечимбаева К.С.</b> Прогнозирование ключевых KPI сетей 5G на основе нейросетевых моделей MLP и LSTM.....	129
<b>Даутбаева А.О., Конырбаев Н.Б., Абильдаева Ж.Т., Есиркепова А.У., Карим Н.А.</b> Разработка приложения для оптимизации процесса трудоустройства выпускников.....	148
<b>Джусупбекова Г., Othman M., Ордабаева Г.</b> Сравнительный анализ алгоритмов искусственного интеллекта для обнаружения сетевых атак.....	167
<b>Исахов А.А., Оразмолдаев Н., Жаркынбек Е., Абылкасымова А.</b> Численное моделирование распространения вирусной инфекции воздушно-капельным путём в замкнутых помещениях.....	182

<b>Кантуреева М.А., Омарова Г.С., Дүйсен Ж.Д., Шекербек А.Ә., Тулебаев Е.Б.</b> Использование методов машинного обучения для прогнозирования и оптимизации процессов эвакуации людей в высотных зданиях.....	202
<b>Хусаин Б., Тельманов М.М., Хусаин А.Б., Бродский А.Р., Сасс А.С.</b> Цифровой двойник комплексной системы очистки и декарбонизации выбросов тепловых установок.....	218
<b>Кулакаева А.Е., Ашуров А.Е., Жумажанов Б.Р., Дайнеко Е.А., Зылгара А.Е.</b> Алгоритм определения начальных орбитальных параметров KazEOSat-1 для деорбитации.....	236
<b>Мименбаева А.Б., Туребаева А.Д., Оспанова Т.Т., Аруова А.Б., Найзагараева А.А.</b> Разработка и сравнительный анализ моделей машинного обучения для прогнозирования городского трафика.....	253
<b>Науменко В.В., Муканова Ж.А., Киселёва О.В., Майнцер Д.А., Нерезов А.К.</b> Применение опросов в режиме реального времени для повышения успеваемости обучающихся.....	271
<b>Назырова А.Е., Кадеркеева З.К., Бекманова Г.Т., Милош М., Ламашева Ж.Б.</b> Цифровое образование и академическая успеваемость учащихся: межуровневый анализ.....	287
<b>Оралбекова Д., Мамырбаев О., Ахмедиярова А., Касымова Д., Алибиева Ж.</b> Разработка многоуровневой модели для абстрактного резюмирования текста на основе предварительно обученных моделей.....	316
<b>Оразбаев Б.Б., Жумадиллаева А.К., Курбангалиева Н.Б., Есиркесинов Р.Ж., Оразбаева К.Н.</b> Синтез лингвистических моделей оценки качества серы и нечёткое моделирование процесса её производства.....	337
<b>Сарсенбаева А.К., Рахимова Д.Р., Шормакова А.Н., Мансурова М.Е., Адали Э.</b> Применение семантических методов в юридическом анализе: интеллектуальная система для обработки агглютинативных текстов.....	354
<b>Серек А., Шойынбек А., Шарипов К., Куанышбай Д., Мухаметжанов А.</b> Анализ и классификация телефонного мошенничества на основе лексических признаков речевых транскрипций.....	373
<b>Шынжігіт Б.Б., Балабекова М.О., Амангелді Т.Т.</b> Анализ и прогнозирование объёмов продаж кирпичной продукции с использованием машинного обучения.....	393

<b>Тохаева А.О., Альжанов А.К., Nezih Ö., Зиятбекова Г.З., Бегалиева К.Б.</b> Формирование компетенций в области виртуализации у обучающихся в высшем образовании на основе платформы Proxmox VE.....	412
<b>Тукенова Л.М., Ауелбеков О.А., Сапакова С.З., Саметова А.А., Бостанов Е.Л.</b> Моделирование и оптимизация режимов работы гибридных силовых установок для беспилотных летательных аппаратов.....	430
<b>Еримбетова А.С., Бержанова У.Г., Дайырбаева Э.Н., Сакенов Б.Е., Самбетбаева М.А.</b> Распознавание языка жестов с использованием временных свёрточных сетей и MediaPipe4.....	43
<b>Жукабаева Т.К., Бенхелифа Э., Марденов Е.М., Баумуратова Д., Карабаев Н.</b> Поддержка принятия решений при реагировании на атаки в киберфизических промышленных системах интернета вещей.....	461

ACADEMIC SCIENTIFIC JOURNAL OF COMPUTER SCIENCE

ISSN 1991-346X

Volume 1.

Number 357 (2026). 202–217

<https://doi.org/10.32014/2026.2518-1726.409>

IRSTI: 20.23.17

UDC 004.8:614.8

© **Kantureeva M.<sup>1</sup>, Omarova G.S.<sup>1</sup>, Duisen Z.D.<sup>2</sup>, Shekerbek A.A.<sup>1</sup>,  
Tulebayev Y.B.<sup>2</sup>, 2026.**

<sup>1</sup> L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan;

<sup>2</sup> Astana IT University, Astana, Kazakhstan.

E-mail: [duisenzhanerke50@gmail.com](mailto:duisenzhanerke50@gmail.com)

## **APPLICATION OF MACHINE LEARNING METHODS IN FORECASTING AND OPTIMIZING THE PROCESSES OF EVACUATION OF PEOPLE IN HIGH-RISE BUILDINGS**

**Kantureeva Mansiya** — PhD, senior lecturer at the Department of Information Systems at the L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan,

E-mail: [kantureyeva\\_ma@enu.kz](mailto:kantureyeva_ma@enu.kz), ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-5904-820X>;

**Omarova Gulmira** — PhD, senior lecturer at the Department of Information Systems at the L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan,

E-mail: [ogs12@mail.ru](mailto:ogs12@mail.ru), ORCID ID: 0000-0003-2053-0255;

**Duisen Zhanerke** — Master's student at the Faculty of Information Technologies, Astana IT University, Astana, Kazakhstan,

E-mail: [duisenzhanerke50@gmail.com](mailto:duisenzhanerke50@gmail.com), ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0009-8746-5946>;

**Shekerbek Ainur** — PhD of the Department of Information Systems of the Eurasian National University named after L.N. Gumilyov, Astana, Kazakhstan,

E-mail: [shekerbek80@mail.ru](mailto:shekerbek80@mail.ru), [800520401702@enu.kz](mailto:800520401702@enu.kz), ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-1088-4239>;

**Tulebayev Yersultan** — Master of Technical Sciences, School of Software Engineering, Astana IT University, Astana, Kazakhstan,

E-mail: [yersultan.tulebayev@astanait.edu.kz](mailto:yersultan.tulebayev@astanait.edu.kz), ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-7965-1476>.

**Abstract.** High-rise buildings in major cities pose significant safety challenges during emergencies, including fires, explosions, and technological accidents. Factors such as dense population, limited evacuation routes, and complex multi-level structures complicate rapid and secure evacuation. This paper explores the use of machine learning methods to analyze factors affecting the effectiveness of human evacuation from high-rise buildings and to predict the risk of complicated evacuation based on real-world statistical data. The analysis used a publicly available data set on the Toronto fires, which included more than 12,000 individual fire records. This dataset contained information about the response time of the fire department, the operational status of the fire alarm and sprinkler systems, the technical characteristics

of the building, the source of the fire, and the final results. Before the analysis, the data went through several stages of preprocessing. These included deleting incomplete records, encoding categorical variables, creating new variables, and visualizing key metrics to identify important patterns. To solve the forecasting problem, models of Logistic regression, Random Forest and XGBoost were used, and their effectiveness was evaluated and compared using established classification indicators. The results of the study showed that the response time of the fire service, the availability and effective operation of alarm and fire extinguishing systems, the height of the building and the location of the fire significantly affected the success of the evacuation. The Random Forest model has achieved an optimal balance between accuracy and sensitivity, thereby demonstrating the ability of machine learning to improve fire safety.

**Key words:** High-rise buildings, evacuation, fire safety, emergency situations, machine learning

*For citations: Kantureeva M., Omarova G.S., Duisen Z.D., Shekerbek A.A., Tulebayev Y.B. Application of machine learning methods in forecasting and optimizing the processes of evacuation of people in high-rise buildings. Academic Scientific Journal of Computer Science, 2026. — No.1. — P. 202–217. DOI: <https://doi.org/10.32014/2026.2518-1726.409>*

© **Кантуреева М.А.<sup>1</sup>, Омарова Г.С.<sup>1</sup>, Дүйсен Ж.Д.<sup>2</sup>, Шекербек А.Ә.<sup>1</sup>,  
Тулебаев Е.Б.<sup>2</sup>, 2026.**

<sup>1</sup>Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан;

<sup>2</sup>Astana IT University, Астана, Қазақстан.

E-mail: [duisenzhanerke50@gmail.com](mailto:duisenzhanerke50@gmail.com)

## **БИІК ҒИМАРАТТАРДАҒЫ АДАМДАРДЫ ЭВАКУАЦИЯЛАУ ПРОЦЕСТЕРІН БОЛЖАУ ЖӘНЕ ОҢТАЙЛАНДЫРУДА МАШИНАЛЫҚ ОҚЫТУ ӘДІСТЕРІН ҚОЛДАНУ**

**Кантуреева Мансия** — PhD, «Ақпараттық жүйелер» кафедрасының аға оқытушысы, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан,

E-mail: [kantureyeva\\_ma@enu.kz](mailto:kantureyeva_ma@enu.kz), ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-5904-820X>;

**Омарова Гульмира** — PhD, «Ақпараттық жүйелер» кафедрасының аға оқытушысы, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан,

E-mail: [ogs12@mail.ru](mailto:ogs12@mail.ru), ORCID ID: 0000-0003-2053-0255;

**Дүйсен Жанерке** — «Ақпараттық технологиялар» факультетінің магистранты, Astana IT University, Астана, Қазақстан,

E-mail: [duisenzhanerke50@gmail.com](mailto:duisenzhanerke50@gmail.com), ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0009-8746-5946>;

**Шекербек Айнұр** — PhD, Ақпараттық жүйелер кафедрасы, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан,

E-mail: [shekerbek80@mail.ru](mailto:shekerbek80@mail.ru), [800520401702@enu.kz](mailto:800520401702@enu.kz), ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-1088-4239>;

**Тулебаев Ерсұлтан** — Техникалық ғылымдар магистрі, Бағдарламалық инженерия мектебі, Astana IT University, Астана, Қазақстан,

E-mail: [yersultan.tulebayev@astanait.edu.kz](mailto:yersultan.tulebayev@astanait.edu.kz), ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-7965-1476>.

**Аннотация.** Ірі қалалардағы биік ғимараттар өрт, жарылыс және техногендік апаттарды қоса алғанда, төтенше жағдайлар кезінде қауіпсіздікке үлкен қиындықтар туғызады. Халық саны, шектеулі эвакуация жолдары және күрделі көп деңгейлі құрылымдар сияқты факторлар тез және қауіпсіз эвакуациялауды қиындатады. Бұл жұмыста биік ғимараттардан адамдарды эвакуациялау тиімділігіне әсер ететін факторларды талдау және эвакуацияның күрделену қаупін болжау үшін машиналық оқыту әдістерін қолдану қарастырылады. Талдауда Торонтодағы өрттер туралы ашық қол жетімді мәліметтер жиынтығы қолданылды, оған 12000-нан астам жеке өрт жазбалары кіреді. Бұл деректер жиынтығында өрт сөндіру қызметінің жауап беру уақыты, өрт дабылы мен спринклер жүйелерінің жұмыс жағдайы, ғимараттың техникалық сипаттамалары, өрт көзі және соңғы нәтижелер туралы ақпарат болды. Талдау алдында деректер алдын ала өңдеудің бірнеше кезеңдерінен өтті. Оларға толық емес жазбаларды жою, категориялық айнымалыларды кодтау, жаңа айнымалылар құру және маңызды заңдылықтарды анықтау үшін негізгі көрсеткіштерді визуализациялау кірді. Болжау мәселесін шешу үшін логистикалық регрессия, Random Forest және XGBoost модельдері қолданылды және олардың тиімділігі белгіленген жіктеу көрсеткіштерін қолдана отырып бағаланды және салыстырылды. Зерттеу нәтижелері өрт сөндіру қызметінің жауап беру уақыты, дабыл және өрт сөндіру жүйелерінің болуы және тиімді жұмыс істеуі, ғимараттың биіктігі мен өрттің орналасуы эвакуацияның сәттілігіне айтарлықтай әсер еткенін көрсетті. Random Forest моделі дәлдік пен сезімталдық арасындағы оңтайлы тепе-теңдікке қол жеткізді, осылайша машиналық оқытудың өрт қауіпсіздігін арттыру қабілетін көрсетті.

**Түйін сөздер:** Биік ғимараттар, эвакуация, өрт қауіпсіздігі, төтенше жағдайлар, машиналық оқыту

© Кантуреева М.А.<sup>1</sup>, Омарова Г.С.<sup>1</sup>, Дүйсен Ж.Д.<sup>2</sup>, Шекербек А.Ә.<sup>1</sup>,  
Тулебаев Е.Б.<sup>2</sup>, 2026.

<sup>1</sup>Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева,  
Астана, Казахстан;

<sup>2</sup>Astana IT University, Астана, Казахстан.  
E-mail: duisenzhanerke50@gmail.com

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ И ОПТИМИЗАЦИИ ПРОЦЕССОВ ЭВАКУАЦИИ ЛЮДЕЙ В ВЫСОТНЫХ ЗДАНИЯХ

**Кантуреева Мансия** — PhD, старший преподаватель кафедры «Информационные системы», Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан,  
E-mail: kantureyeva\_ma@enu.kz, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-5904-820X>;

**Омарова Гульмира** — PhD, старший преподаватель кафедры «Информационные системы», Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан,  
E-mail: ogs12@mail.ru, ORCID ID: 0000-0003-2053-0255;

Дүйсен Жанерке — магистрант факультета «Информационные технологии», Astana IT University, Астана, Казахстан,

E-mail: [duisenzhanerke50@gmail.com](mailto:duisenzhanerke50@gmail.com), ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0009-8746-5946>;

**Шекербек Айну**р — PhD, старший преподаватель кафедры «Информационные системы», Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан,

E-mail: [shekerbek80@mail.ru](mailto:shekerbek80@mail.ru), [800520401702@enu.kz](mailto:800520401702@enu.kz), ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-1088-4239>;

**Түлбаев Ерсултан** — магистр технических наук, Школа программной инженерии, Astana IT University, Астана, Казахстан,

E-mail: [yersultan.tulebayev@astanait.edu.kz](mailto:yersultan.tulebayev@astanait.edu.kz), ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-7965-1476>.

**Аннотация.** Высотные здания в крупных городах представляют серьёзные вызовы для обеспечения безопасности в условиях чрезвычайных ситуаций, включая пожары, взрывы и техногенные аварии. Высокая плотность населения, ограниченное количество путей эвакуации и сложная многоуровневая структура зданий существенно затрудняют оперативную и безопасную эвакуацию людей. В работе рассматривается применение методов машинного обучения для анализа факторов, влияющих на успешность эвакуации, а также для прогнозирования риска осложнённой эвакуации на основе реальных статистических данных. В качестве эмпирической базы использован открытый набор данных о пожарах в городе Торонто, включающий более 12 000 записей. Данные содержат информацию о времени реагирования пожарных служб, состоянии систем сигнализации и пожаротушения, характеристиках зданий, источниках возгорания и исходах инцидентов. Предварительная обработка данных включала удаление неполных наблюдений, кодирование категориальных переменных, создание новых признаков и визуализацию ключевых показателей для выявления закономерностей. Для построения прогностических моделей применялись логистическая регрессия, Random Forest и XGBoost. Эффективность моделей оценивалась с использованием стандартных классификационных метрик. Результаты исследования показали, что время реагирования пожарной службы, наличие и работоспособность систем сигнализации и пожаротушения, высота здания и локализация пожара оказывают существенное влияние на успешность эвакуации. Модель Random Forest продемонстрировала наилучший баланс между точностью и чувствительностью, что подтверждает высокий потенциал методов машинного обучения для повышения уровня пожарной безопасности и оптимизации процессов эвакуации.

**Ключевые слова:** Высотные здания, эвакуация, пожарная безопасность, чрезвычайные ситуации, машинное обучение

**Кіріспе.** Қазіргі ірі қалалардағы биік ғимараттардың салынуы қарқынды дамып келе жатыр. Бұл өрт, жарылыс және техногендік апаттар сияқты төтенше жағдайлар кезінде адамдардың қауіпсіздігін арттыруды қажет етеді. Биік ғимараттар күрделі инженерлік жүйелер болып табылады және эвакуацияны ұйымдастыру әсіресе халықтың тығыздығының жоғары болуына, эвакуация-

лық шығулардың шектеулі санына және көп деңгейлі құрылымға байланысты қиынға соғады. Жылдам және қауіпсіз эвакуацияны қамтамасыз ету өрт қауіпсіздігі жүйелерінің ғана емес, сонымен қатар қалалық жұмысшылардың жалпы тәуекелдерін басқарудың негізгі міндеті болып табылады.

Адам ағынының инженерлік үлгілері, мінез-құлық модельдеулері, агентке бағытталған жүйелер және маршрутты оңтайландыру әдістері эвакуацияны талдаудың заманауи әдістері болып табылады. Алайда, шын жағдайларда эвакуацияның тиімділігі жоспарлау шешімдеріне ғана емес, сонымен қатар адам факторына, яғни қауіпті қабылдау, дүрбелең, адамдар арасындағы өзара әрекеттесуге және қызметтердің уақытылы әрекет етуіне байланысты. Осыған байланысты, нақты оқиғалар негізінде заңдылықтарды анықтауға және экстремалды жағдайларда адамдардың мінез-құлқын болжаудың дәлдігін арттыруға мүмкіндік беретін деректерді талдау және машиналық оқыту әдістері белсенді дамып келеді

Ашық өрт деректерін пайдалану эвакуацияның сәттілігіне әсер ететін факторларды эмпирикалық түрде зерттеуге жаңа мүмкіндіктер береді. Мұндай дереккөздердің бірі – Торонтодағы өрт оқиғалары туралы мәліметтер жиынтығы (Toronto Fire Incidents Dataset). Бұл деректер жиынтығында жауап беру уақыты, нысан түрлері, өрт дабылы жүйелері және басқа да оқиғалар параметрлері туралы ақпарат бар (Kaggle, 2023). Осындай секілді деректерді талдау үшін қолданылатын машиналық оқыту алгоритмдері оқиғаларды ұзақтығы бойынша жіктеуге, әртүрлі факторлардың әсерін бағалауға және көп қабатты үйлерді эвакуациялау кезіндегі қауіптер туралы түсінікті арттыруға мүмкіндік береді. Сол себепті эвакуация тиімділігін болжай алатын және адамдардың қауіпсіздігіне әсер ететін негізгі факторларды анықтай алатын интеллектуалды модельдерді әзірлеу қажеттілігі туындайды.

Зерттеудің мақсаты – ашық өрт деректерін пайдалана отырып, адамдарды биік ғимараттардан эвакуациялаудың тиімділігін талдау және болжау үшін машиналық оқыту үлгілерін жасау және бағалау болып табылады. Жұмыс барысында эвакуацияның сәттілігіне және жауап беру уақытына әсер ететін негізгі элементтерді зерделеу, сондай-ақ эвакуация процесінде адам шығыны мен ықтимал кідірістерді бағалау үшін болжамды модель жасау жоспарлануда.

**Әдеби шолу.** Соңғы жылдары биік ғимараттардан адамдарды эвакуациялау саласындағы зерттеулер қарапайым инженерлік модельдерден адамдардың мінез-құлқын, өрт динамикасын және ортаның белгісіздігін ескеретін кешенді интеллектуалды жүйелерге көшуін көрсетеді. Қазіргі тәсілдер оңтайландыру әдістерін, агентке бағытталған модельдеуді, машиналық оқытуды және сандық егіздерді біріктіріп, болжам дәлдігін арттыруға және эвакуацияны басқарудың тиімділігін жақсартуға мүмкіндік береді.

### *1. Инженерлік және оңтайландыру модельдері*

Классикалық инженерлік модельдер эвакуацияны талдаудың негізі болып қала береді, себебі олар ғимараттың геометриясын, жолдардың өткізу қабілетін және адамдар ағынының тығыздығын ескеруге мүмкіндік береді. Ronchi &

Nilsson (2013) шолуы көрсеткендей, мұндай модельдер биік ғимараттарды жобалау кезінде кеңінен қолданылады, алайда олар адамдардың мінез-құлқындағы жеке ерекшеліктер мен стресс факторларының әсерін әлсіз көрсетеді. Есептеу әдістерінің дамуы эвакуациялық ағындарды динамикалық түрде тарату үшін оңтайландыру алгоритмдерін енгізуге әкелді. Gao et al. (2022) Шығу жолдарын таңдауда жеке қалауларды ескеретін модель ұсынды, бұл кептелістердің пайда болу ықтималдығын азайтып, жалпы эвакуация уақытын қысқартуға мүмкіндік берді. Сол сияқты тәсіл Li et al. (2024) еңбегінде жүзеге асырылған, онда жетілдірілген құмырсқа алгоритмі интеллектуалды өрт сөндіру жүйесінде адаптивті маршруттарды құру үшін қолданылады Gravit et al. (2018) ұсынған фазалық эвакуацияның инженерлік алгоритмдері баспалдақ торларының шамадан тыс жүктелуін азайту мақсатында биік ғимараттардың қабагтарын кезең-кезеңімен босатуға бағытталған. Carev et al. (2024) терезелер, балкондар және шатырлар арқылы эвакуация жүргізуге мүмкіндік беретін қашықтықтан басқарылатын механикаландырылған платформаға негізделген инженерлік құтқару жүйесін ұсынды. Осылайша, оңтайландыру әдістері дәстүрлі модельдердің тиімділігін арттырады, алайда әлі де нақты кіріс деректерін қажет етеді және адамдардың когнитивті ерекшеліктерін толық ескермейді.

### *2. Адамның мінез-құлқы мен когнитивтік факторлар*

Адам факторын ескеру эвакуациялық модельдердің шынайылығын арттырудың негізгі шарты ретінде қарастырылады. Zhang et al. (2024) эксперименттік зерттеуі, тік эвакуация кезінде адамдардың тығыздығына және визуалды стимулдарға байланысты топтың қозғалысын синхрондау эффектісі пайда болатынын көрсетті, бұл баспалдақтармен жылжу жылдамдығына тікелей әсер етеді. Teng et al. (2024) қоршаған орта контексті мен гендерлік айырмашылықтар эвакуациялық шығуды таңдауға статикалық маңызды әсер ететінін анықтады, бұл модельдің психологиялық параметрлерін қосу қажеттілігін растайды. Gerges et al. (2021) агенттік модельдеу негізінде жасалған жекелендірілген эвакуация нұсқаулары адамдардың ғимараттан шығу уақытын 50% дейін қысқартуға мүмкіндік беретінін көрсетті. Li et al. (2022) алдын ала эвакуация кезеңіндегі шешім қабылдау процесін қарастырып, қозғалысты кеш бастау адам шығынының жалпы қауіпін айтарлықтай арттыратынын көрсетті. Сондай-ақ Richardson et al. (2017) ғимараттың жоспарын білу өрт және түгін жағдайында сәтті эвакуациялау ықтималдығын айтарлықтай арттыратынын анықтады. Wang et al. (2023) байестік тепе-теңдікке негізделген агенттікке бағытталған модельді ұсынды, онда адамдар маршрутты таңдағанда болашақ топтың тығыздығын болжайды. Zablotzky et al. (2024) кооперативті мінез-құлықты модельдеу жергілікті тығыздықты және жалпы эвакуация уақытын азайтатынын дәлелдеді.

### *3. Интеллектуалды және машиналық оқыту жүйелері*

Машиналық оқыту әдістері эвакуация саласындағы зерттеулердің ең перспективті бағыттарының біріне айналды. Testa et al. (2020) егжей-тегжейлі

3D модельдеуді қажет етпейтін CrowdEst эвакуация параметрлерін бағалау әдісін ұсынды. Әдіс симуляциялық деректерде оқытылған нейрондық желілер мен эвристикалық біріктіру алгоритмдерін қолданады. Saadatmand et al. (2025) Random Forest және Gradient Boosting алгоритмдері дағдарысқа дейінгі кезеңде ғимараттардың эвакуациялық тәуекелдерге осалдығын тиімді бағалауға мүмкіндік беретінін көрсетті. Қазіргі зерттеулер Random Forest негізіндегі модельдердің деректердегі шуға жоғары төзімділігін және тәуекел факторларын анықтауға мүмкіндік беретінін растайды, ал градиентті бустинг күрделі сызықтық емес тәуелділіктер кезінде болжаудың жоғары дәлдігін қамтамасыз етеді. Бұл әдістер өрттер мен эвакуация туралы үлкен деректер жиынтықтарын талдау үшін перспективті етеді.

#### 4. Геоақпараттық технологиялар және цифрлық егіздер

Эвакуацияны модельдеуге цифрлық технологияларды интеграциялау аясында, оңтайлы эвакуация маршруттарын анықтау үшін BIM (Building Information Modeling) және GIS (Geographic Information Systems) жүйелерін бірлесіп пайдалану әдістері ұсынылды. Atyabi et al. (2019) BIM-нің ғимараттың ішкі кеңістігінің геометриясы туралы деректерін GIS-талдауымен біріктіріп, құрылымдық сипаттамалар мен өрт ошағының орналасуын ескере отырып, ең қауіпсіз эвакуация жолдарын есептейтін әдістеме әзірледі. Сол сияқты Bayat et al. (2020) осындай интеграцияланған әдістер 3D-граф ішкі құрылымын және маршруттарды талдау үшін GIS алгоритмдерін қолдана отырып эвакуацияны модельдеуге мүмкіндік беретінін көрсетті, бұл төтенше жағдайларға жедел әрекет ету қызметтерінің шешім қабылдауын жақсартады. Senanayake et al. (2024) жүйелі шолуы, эвакуацияны модельдеу саласындағы қазіргі зерттеулердің нақты орталардың цифрлық егіздерін жасауға бағытталғанын көрсетеді, мұнда агенттік модельдердің (ABM) және машиналық оқыту (ML) әдістерінің үйлесімі статикалық модельдердің шектеулерін жеңіп, эвакуация сценарийлерін динамикалық, бейімделгіш және шынайы болжауға көшуге мүмкіндік береді. Бұл симуляциялардың шынайылығы мен пайдалылығын арттырудың негізгі перспективалық бағыты ретінде қарастырылады.

Кесте 1 — Төтенше жағдайлар кезіндегі адамдарды эвакуациялау модельдерінің салыстырмалы сипаттамасы

Модель типі	Негізгі идея	Артықшылықтар	Шектеулер
Инженерлік-физикалық	Геометрияны, өткізу қабілетін және тығыздықты ескере отырып, ағындардың қозғалысын талдау	Есептеудің қарапайымдылығы; көрнекілігі; жобалық және нормативтік есептеулерге ыңғайлы болуы	Индивидуалды және психологиялық әрекеттерді ескермейді
Агенттік мінез-құлық модельдері (ABM)	Агенттердің жеке мінез-құлқын, қауіп-қатерді қабылдау, дүрбелең және эвакуация қатысушылары арасындағы өзара әрекеттестікті ескере отырып модельдеу	Көпшілікті шынайы модельдеу; жеке реакциялар мен мінез-құлық динамикасын есепке алу	Көптеген параметрлерді қажет етеді; жоғары есептеу күрделілігі

Оптимизациялық және гибриді алгоритмдер	Эвристикалық әдістер, мысалы, құмырсқа алгоритмі, генетикалық алгоритмдер және бөлшектердің рой алгоритмі, эвакуацияның оңтайлы маршруттарын іздеуде қолданылады	Адаптивтілік; өзгеріп отыратын жағдайларда эвакуациялық маршруттарды тиімді жоспарлау	Кіріс деректерінің сапасына тәуелділік; нақты жүйелерге интеграциялаудың күрделілігі
Машиналық оқыту және деректерді талдау (ML/AI)	Нақты деректер негізінде эвакуациялық шешімдер мен тәуекелдерді болжау	Жоғары дәлдік; жасырын заңдылықтарды анықтау; масштабталу қабілеті	Үлкен көлемдегі деректер жиынтықтарының қажеттілігі; модельдердің шектеулі түсіндіру мүмкіндігі
BIM–GIS және цифрлық егіздер	Эвакуация жолдарын есептеу үшін ғимараттың 3D моделін (BIM) геоақпараттық жүйелермен (GIS) интеграциялау	Эвакуацияны жобалау сатысында визуализациялау мүмкіндігі; ғимараттың геометриясын дәл есепке алу.	Толық цифрлық ғимарат модельдері қажет; енгізу үдерісі жоғары еңбек шығынын талап етеді

1-кестеде адамдардың төтенше жағдайлар кезіндегі қозғалысын бағалаудың әртүрлі тәсілдерін ұсынады. Инженерлік-физикалық модельдер ғимараттардың көлемін және шығу жолдарының өткізу қабілеттілігін ескере отырып, адамдар ағынын есептеуге негізделген. Олар жобалық есептеулер үшін ыңғайлы және оларды пайдалану салыстырмалы түрде оңай, бірақ психологиялық ерекшеліктерді және адамдардың мінез-құлқының ерекшеліктерін ескермейді. Агенттік мінез-құлық модельдері жеке адамдарды тәуелсіз агенттер ретінде имитациялау арқылы масса динамикасын және қауіп-қатерге реакцияны шынайы түрде көрсетуге мүмкіндік береді. Бұл әдістің қолданылуы модельдеудің дәлдігін жақсартады, бірақ үлкен есептеу ресурстарын және көптеген мінез-құлық деректерін талап етеді. Өзгермелі жағдайларда эвакуациялық маршруттарды табу үшін оңтайландыру алгоритмдері қолданылады. Олар жоспарлаудың бейімделгіштігін қамтамасыз етеді, алайда кіріс деректер сапасына және нақты жүйелермен интеграцияның күрделілігіне сезімтал. Ең заманауи бағыт – машиналық оқыту модельдері, олар шынайы деректер негізінде эвакуациялық шешімдерді болжауға және жасырын заңдылықтарды анықтауға мүмкіндік береді. Олардың басты шектеулері – үлкен деректер жиынтықтарына қажеттілік пен нәтижелерді түсіндірудің күрделілігі болып табылады. Жалпы алғанда, заманауи зерттеулер физикалық, мінез-құлықтық және интеллектуалды модельдерді біріктіретін гибриді шешімдерге ұмтылады, бұл эвакуациялық жүйелердің тиімділігі мен сенімділігін арттыруға бағытталған.

Жүргізілген әдебиеттер талдауы заманауи зерттеулер инженерлік модельдерді, мінез-құлық талдауын және машиналық оқыту әдістерін

біріктіретін гибриді интеллектуалды жүйелерге қарай ығысып бара жатқанын көрсетеді. Инженерлік және оңтайландыру алгоритмдері эвакуация ағындарын формализациялауды қамтамасыз етеді, агенттік мінез-құлық модельдері когнитивті және әлеуметтік факторларды ескеруге мүмкіндік береді, ал Random Forest және Gradient Boosting әдістері эмпирикалық деректерді жоғары дәлдікпен өңдеуді қамтамасыз етеді. Цифрлық егіздерді және BIM-GIS интеграциясын пайдалану нақты уақыттағы эвакуацияны басқарудың адаптивті жүйелерін құруға негіз қалайды. Алайда, нақты деректер жиынтығының шектеулігі және ML модельдерін түсіндірудің күрделілігі мәселесі өзекті болып қала береді, бұл түсіндірілетін жасанды интеллект бағытында және ғимараттардың жоспарлауы мен халық тығыздығы туралы деректерді интеграциялауда одан әрі зерттеулер жүргізу қажеттілігін анықтайды.

**Материалдар мен әдістер.** Зерттеу Toronto Fire Incidents Dataset (Kaggle, 2023) ашық деректер жинағын талдау негізінде орындалды. Бұл деректер жиынтығы 12 000-нан астам оқиға туралы мәліметтерді, соның ішінде ғимараттардың сипаттамаларын, өрт сөндіру қызметтерінің әрекет ету уақытын, өрт дабылы жүйесінің жұмысын, зардап шеккендердің санын және өртті сөндіру параметрлерін қамтиды.

Зерттеу мақсатында эвакуация динамикасымен және әрекет ету тиімділігімен тікелей байланысты келесі сипаттамалар таңдап алынды:

- Өртке жауап беру және оны жою уақыты (TFS\_Alarm\_Time, TFS\_Arrival\_Time, Fire\_Under\_Control\_Time);
- Өрт және түтін сигнализациясының болуы мен жағдайы (Fire\_Alarm\_System\_Presence, Smoke\_Alarm\_at\_Fire-Origin, Sprinkler\_System\_Presence);
- Ғимараттар мен өрт ошақтарының сипаттамалары (Property\_Use, Level\_Of-Origin, Area\_of-Origin);
- Оқиға салдарының көрсеткіштері (Civilian\_Casualties, Count\_of\_Persons\_Rescued, Estimated\_Dollar\_Loss).

Бастапқы деректер негізінде келесі туынды параметрлер құрылды:

- Response\_Time\_min – өртке жауап беру уақыты (шақыру уақыты мен келген уақыт арасындағы айырмашылық);
- Fire\_Control\_Time\_min – өртті сөндіру ұзақтығы;
- Has\_Alarm\_System – белсенді сигнализация жүйесінің болуы туралы бинарлық көрсеткіш;
- Has\_Sprinkler – өрт сөндіру жүйесінің болуы және жұмыс жасауы туралы индикатор;
- High\_Casualty\_Risk – зардап шеккендердің қаупін немесе эвакуацияның кешігуін көрсететін мақсатты айнымалы.

Деректерді алдын ала өңдеу датасетті жүктеу және тазалауды, бос орындарды жоюды, уақыт белгілерін datetime форматына келтіруді, туынды белгілерді генерациялауды және категориялық деректерді кодтауды қамтыды. Одан әрі факторлардың корреляциялық талдауы, жауап беру уақыты мен зардап шеккендердің санының таралуын визуализациялау, сондай-ақ ғимараттардың

инженерлік сипаттамаларының оқиғалардың нәтижелеріне әсерін зерттеу жүргізілді.

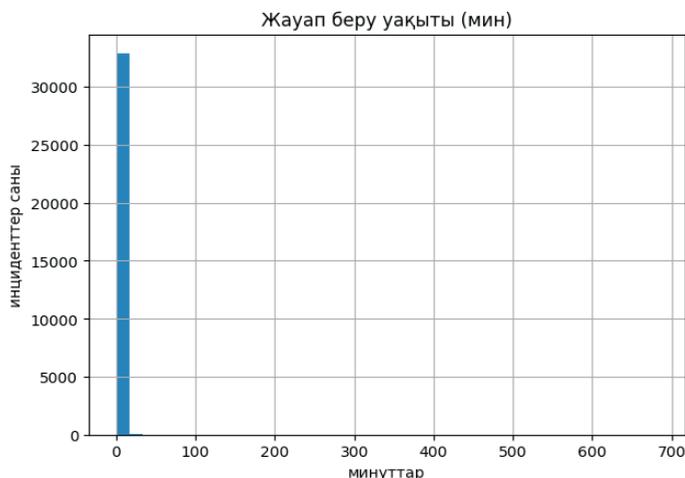
Модельдерді жасау және бағалау үшін логистикалық регрессия, Random Forest және градиентті бустинг (XGBoost) алгоритмдері қолданылды. Деректердің 20% – тестілеу үшін, ал 80% – модельдерді оқыту үшін қолданылды. Модельдердің тиімділігін бағалау үшін жіктеу көрсеткіштері (Accuracy, Precision, Recall, F1-score, ROC-AUC метрикаларымен), және регрессиялық көрсеткіштер (RMSE, MAE метрикаларымен) қолданылды.

Нәтижелерді интерпретациялау барысында ерекшеліктердің маңыздылығын талдау және параметрлердің үлесін бағалау үшін түсіндірілу мүмкін машиналық оқыту әдістері (SHAP values) қолданылды, мысалы: жауап беру уақыты, сигнализацияның болуы, қабат саны және эвакуацияның сәттілік ықтималдығы. Зерттеу Python бағдарламалау тілінде жүргізілді (pandas, scikit-learn, matplotlib, shap кітапханалары), бұл деректерді талдауды, модельдерді құруды және нәтижелерді визуализациялауды қамтамасыз етеді.

### Нәтижелер

#### 1. Алдын ала деректерді талдау

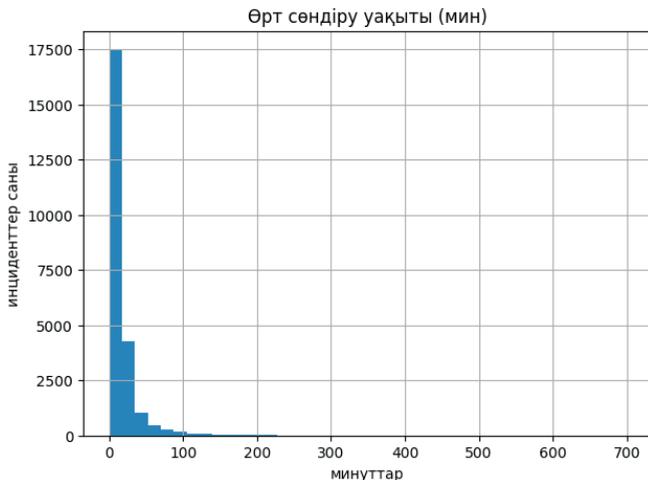
Toronto Fire Incidents деректер жиынтығына жүргізілген бастапқы талдау өрт оқиғаларының басым бөлігі тұрғын үй ғимараттарында орын алатынын және өртке қарсы қызметтердің әрекет ету уақытының салыстырмалы түрде қысқа екенін көрсетті. 1-суретте жауап беру уақытының (Response\_Time\_min) үлестірімі көрсетілген.



Сурет1 – Әрекет ету уақытының үлестірімі

Көптеген шақырулар 5 минут ішінде қабылданады, бұл қалалық қызметтердің жедел нормативтеріне сәйкес келеді. Алайда, 700 минутқа дейін созылған сирек жағдайлар кездеседі, олар, мүмкін, аномалды немесе қайталанатын жазбаларды көрсетеді.

2-суретте өртті сөндіру ұзақтығының (Control\_Time\_min) үлестірімі көрсетілген. Көптеген оқиғалар 30-40 минут ішінде аяқталады, бірақ үлестірімнің құйрығы бірнеше сағатқа созылған сөндіру жағдайларының аз мөлшерде бар екенін көрсетеді.



Сурет 2 – Өртті сөндіру уақытының үлестірімі

Мұндай асимметрия эвакуацияның күрделілігінің және адам шығынының ықтимал қаупінің негізгі көрсеткіштері ретінде жауап беру және жою уақытын қарастыру қажеттігін растайды. Конец формы

2. Классификация нәтижелері

Жоғары эвакуациялық қаупінің (High\_Casualty\_Risk) ықтималдығын анықтау мақсатында Logistic regression, Random Forest, XGBoost модельдері қолданылды. Нәтижелер төмендегі 2 кестеде келтірілген.

Кесте 2 – Эвакуациялық тәуекелді болжау үшін машиналық оқыту модельдерінің классификация нәтижелері

Модель	Ассурасу (классификация дәлдігі)	Precision (оң болжамдардың дәлдігі)	Recall (толықтық модельдің сезімталдығы)	F1-score (Precision және Recall гармоникалық орташа мәні)	ROC-AUC (ROC-қисығы астындағы аудан, классификация сапасын бағалау)
Logistic regression	0.546	0.117	0.836	0.205	0.756
Random Forest	0.902	0.318	0.356	0.336	0.823
XGBoost	0.929	0.433	0.073	0.126	0.812

Логистикалық регрессия жоғары сезімталдыққа ( $Recall = 0.836$ ) ие екенін көрсетті, яғни модель қауіпті жағдайлардың басым көпшілігін дұрыс анықтау қабілетіне ие, бірақ оның дәлдігі ( $Precision = 0.117$ ) өте төмен. Бұл жалған дабылдардың көптігін көрсетеді, сондықтан мұндай модель алдын ала ескерту жүйелері үшін тиімді, бірақ жедел шешімдер қабылдауға жарамсыз.

Random Forest моделі  $Accuracy = 0.902$  және  $ROC-AUC = 0.823$  көрсеткіштерімен теңдестірілген сапаны көрсетті, ал  $Precision = 0.318$  және  $Recall = 0.356$  мәндері оқиғаларды анықтау мен жалған қосылуларды шектеу арасындағы жақсы үйлесімділікті көрсетеді.

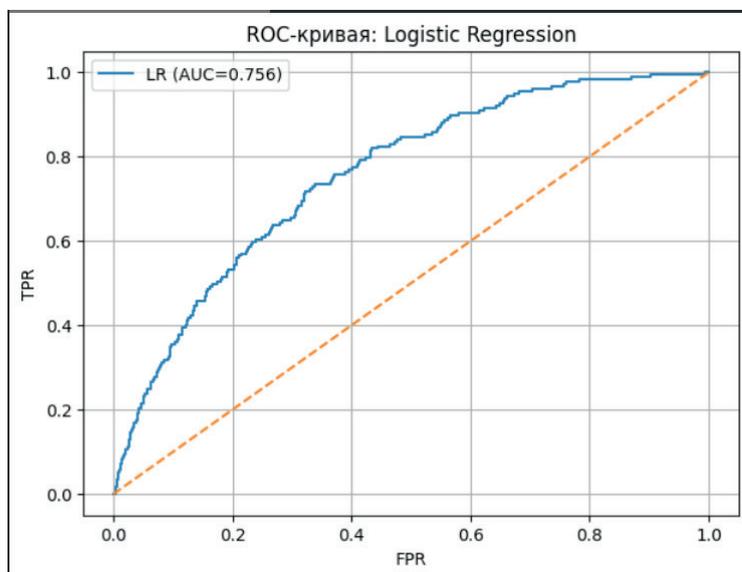
Модель күрделі сызықтық емес тәуелділіктерді жақсы анықтайды, бұл инженерлік (сигнализация жағдайы), уақыттық (тәулік уақыты, апта күні) және әлеуметтік (ғимаратты пайдалану түрі) сияқты көптеген факторлардың әсерін ескереді.

XGBoost моделі ең жоғары жалпы дәлдікті ( $Accuracy = 0.929$ ) және жақсы  $ROC-AUC$  ( $0.812$ ) көрсетті, бірақ оның сезімталдығы ( $Recall = 0.073$ ) төмен болды – модель консервативті болжамдарға бейім және жоғары тәуекелді сирек кездесетін оқиғаларды жіберіп алуы мүмкін. Мұның себебі – кластардың тең еместігі: 12 687 жазбаның тек 887-і ғана  $High\_Casualty\_Risk$  санатына тиесілі.

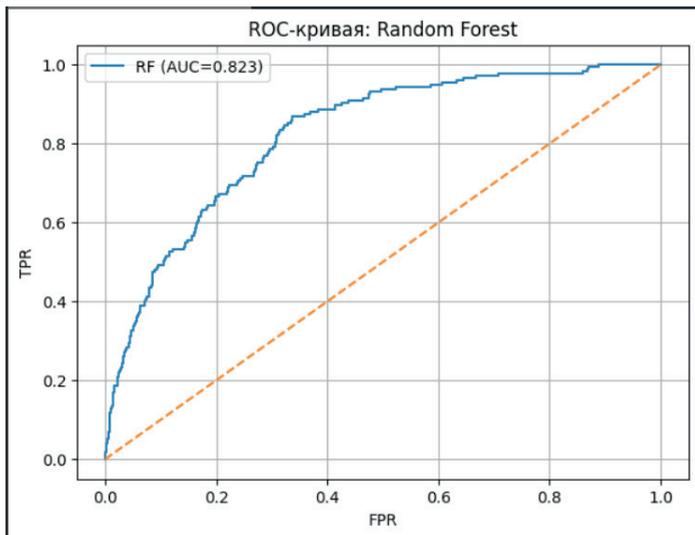
#### *ROC қисықтарын интерпретациялау*

3-5 суреттерде барлық қарастырылған модельдерге арналған ROC қисықтары көрсетілген:

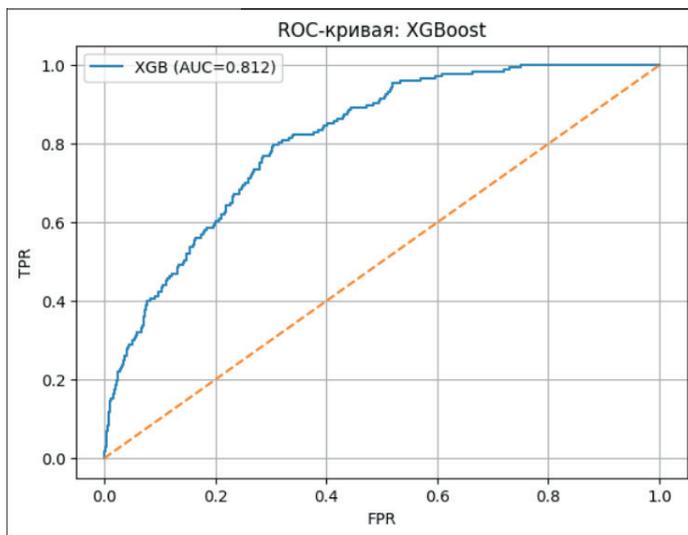
- Logistic Regression –  $AUC = 0.756$
- Random Forest –  $AUC = 0.823$
- XGBoost –  $AUC = 0.812$



Сурет 3 – Логистикалық регрессия моделінің ROC-қисығы

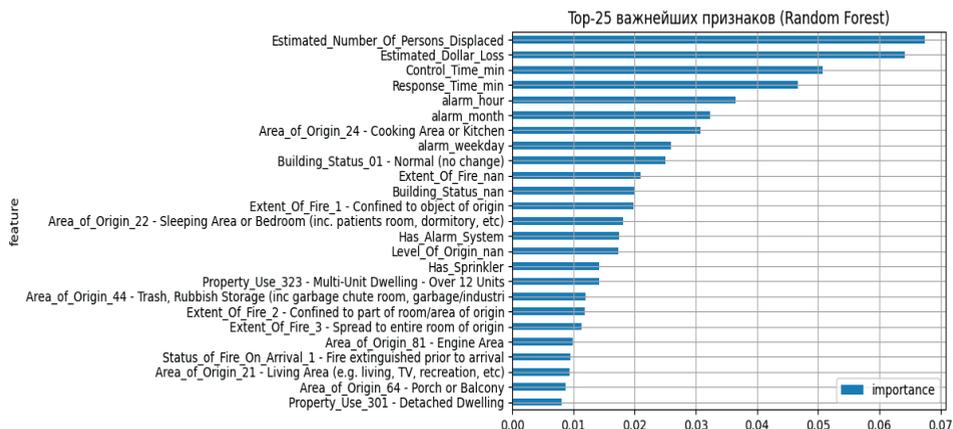


Сурет 4 – Random Forest моделінің ROC-қисығы



Сурет 5 – XGBoost моделінің ROC-қисығы

Random Forest моделі сыныптарды бөлуде және деректердегі шуға төзімділікте ең жақсы нәтиже көрсетті. Оның ROC-қисығы (4-сурет) диагональдан дерлік барлық ұзындығы бойынша жоғары орналасқан, бұл оң және теріс жағдайларды дұрыс жіктеу қабілетінің жоғары екенін растайды. XGBoost дәлдігі бойынша жақын, бірақ төмен FPR (Жалған оң нәтижелер үлесі) кезінде TPR-дің (Дұрыс оң нәтижелер үлесі) айқын төмендеуі бар, бұл басым сыныпта шамадан тыс оқытылу тенденциясын көрсетеді.



6 сурет. Random Forest моделінің маңызды белгілерінің графигі

### Негізгі белгілерді талдау

Белгілердің маңыздылығының (feature importance) және SHAP-интерпретациясының (сурет 6) нәтижелері бойынша анықталды:

1. Response\_Time\_min – ең маңызды қауіп факторы. Өрт сөндіру қызметтерінің келу уақыты неғұрлым ұзақ болса, адам шығынының ықтималдығы соғұрлым жоғары болады.

2. Has\_Alarm\_System и Has\_Sprinkler – жұмыс істеп тұрған дабыл және спринклер жүйелерінің болуы қауіпті азайтады. Олар болмаған жағдайда, оқиғаның High\_Casualty\_Risk санатына жату ықтималдығы екі еседен астам артады.

3. Extent\_Of\_Fire и Level\_Of\_Origin – өрттің таралу дәрежесі мен қабаттылығы эвакуация уақытын анықтайды: жоғарғы қабаттарда басталған өрттердің эвакуацияны қиындату ықтималдығы жоғары.

4. Уақытша белгілер (alarm\_hour, alarm\_weekday) – Түнгі және ерте таңғы уақытта тәуекелдің жоғары болуы реакцияның баяулауымен және көрінудің шектеулі болуымен түсіндіріледі.

**Талқылау.** Нәтижелер көрсеткендей, жауап беру уақыты мен дабыл жүйелерінің жағдайы сәтті эвакуацияның негізгі детерминанттары болып табылады. Тіпті Response\_Time\_min-ның 3-5 минутқа ұлғаюы адам шығыны ықтималдығын статистикалық тұрғыдан арттырады.

Практикалық тұрғыдан қарағанда:

- ML модельдері өрт сөндіру қызметтерінің шешім қабылдауды қолдау жүйелерінде оқиғаның күрделілігін ерте болжау үшін қолданылуы мүмкін;
- Random Forest мұндай міндеттер үшін оңтайлы модель болып табылады, ол дәлдік пен сезімталдық арасындағы тепе-теңдікті қамтамасыз етеді;
- болашақта эвакуацияны дәлірек модельдеу үшін ғимараттардың жоспарлауы, халық тығыздығы және қабаттылығы туралы деректерді пайдалана отырып, талдауды кеңейтуге болады.

**Қорытынды.** Жүргізілген зерттеу машиналық оқыту әдістері адамдарды биік ғимараттардан эвакуациялау процестерін талдау және болжау үшін тиімді қолданылатынын көрсетті. Toronto Fire Incidents ашық деректер жинағы негізінде эвакуацияның сәттілігіне және адам шығынының қауіп деңгейіне әсер ететін факторларды анықтауға бағытталған логистикалық регрессия, Random Forest және XGBoost модельдері жасалды және сыналды.

Зерттеу нәтижелері сәтті эвакуациялаудың ең маңызды факторлары өрт сөндірушілердің жауап беру уақыты, өрт дабылы жүйелері мен спринклерлердің болуы, сондай-ақ ғимараттың сипаттамалары – қабат саны, ауданы және өрттің шығу орны болып табылатындығын көрсетті. Пайдаланылған модельдердің ішінде Random Forest (AUC = 0.823) ең жақсы көрсеткіштерді көрсетті, дәлдік пен толықтық арасындағы оңтайл тепе-теңдікті қамтамасыз етті, бұл оны шешімдерді қолдау жүйелерінде практикалық қолдану үшін тандаулы құралға айналдырды.

Талдау көрсеткендей, деректерді интеллектуалды талдау әдістерін пайдалану өрт қаупін бағалаудың дәлдігін арттыруға ғана емес, сонымен қатар болжамды бақылау жүйелерінің негізін құруға мүмкіндік беретінін растады. Мұндай шешімдерді қалалық құтқару қызметтерінің жұмысына біріктіру жауап беру уақытын қысқартуға, ресурстарды тиімдірек бөлуге және азаматтардың қауіпсіздік деңгейін арттыруға ықпал етеді. Бұл бағытты одан әрі дамыту ғимараттардың орналасуы туралы деректерді пайдалану, агенттік модельдеу арқылы адамдардың мінез-құлқын модельдеу және объектілердің цифрлық егіздерін құру арқылы мүмкін болады. Бұл оқиғаларды талдаудан нақты уақыттағы эвакуация сценарийлерін динамикалық болжауға және қалалық ортаның қауіпсіздігін басқарудың интеллектуалды жүйелерін қалыптастыруға көшуге мүмкіндік береді.

### References

Aria (2020) Toronto Fire Incidents. Kaggle. URL: <https://www.kaggle.com/datasets/phyxle/toronto-fire-incidents> (in English)

Atyabi S., Kiavarz Moghaddam M., & Rajabifard A. (2019) Optimization of emergency evacuation in fire building by integrated BIM and GIS. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 42. — P. 131-139. DOI: <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-4-W18-131-2019> (in English)

Bayat H., Delavar M.R., Barghi W., EslamiNezhad S.A., Hanachi P., & Zlatanova S. (2020) Modeling of emergency evacuation in building fire. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 43. — P. 321-327. DOI: <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLIII-B4-2020-321-2020> (in English)

Carev E., Rukomoinikov K., Makarov V., Anisimov I., & Anisimov N. (2024) Rescue system for people evacuation for highrise buildings. In E3S Web of Conferences, Vol. 486, 06008. DOI: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202448606008> (in English)

Gao F., Du Z., Werner M., & Zhao Y. (2022) An improved optimization model for crowd evacuation considering individual exit choice preference. Transactions in GIS, 26(7). — P. 2850-2873. DOI: <https://doi.org/10.1111/tgis.12984> (in English)

Gerges M., Demian P., & Adamu Z. (2021) Customising evacuation instructions for high-rise residential occupants to expedite fire egress: Results from agent-based simulation. Fire, 4(2), 21. DOI:

<https://doi.org/10.3390/fire4020021> (in English)

Gravit M., Dmitriev I., & Kuzenkov K. (2018) Phased evacuation algorithm for high-rise buildings. In *MATEC Web of Conferences*, Vol. 245, 11012. DOI: <https://doi.org/10.1051/mateconf/201824511012> (in English)

Han Z., Meng L., Mitani Y., Kawano K., Sugahara T., Taniguchi H., Honda H., & Li Z. (2025) Machine Learning-Based Assessment of Building Evacuation Vulnerability at the Pre-Disaster Stage. *Sustainable Cities and Society*, 130, 106571. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scs.2025.106571> (in English)

Li N., Shi Z., Jin J., Feng J., Zhang A., Xie M., ... & Lei Y. (2024) Design of Intelligent Firefighting and Smart Escape Route Planning System Based on Improved Ant Colony Algorithm. *Sensors*, 24(19), 6438. DOI: <https://doi.org/10.3390/s24196438> (in English)

Li Z., Qiu S., Wang X., & Zhao L. (2022) Modeling and simulation of crowd pre-evacuation decision-making in complex traffic environments. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(24), 16664. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijerph192416664> (in English)

Richardson O., Jalba A., & Muntean A. (2019) Effects of environment knowledge in evacuation scenarios involving fire and smoke: a multiscale modelling and simulation approach. *Fire technology*, 55(2). — P. 415-436. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10694-018-0743-x> (in English)

Ronchi E., & Nilsson D. (2013) Fire evacuation in high-rise buildings: a review of human behaviour and modelling research. *Fire science reviews*, 2(1), 7. DOI: <https://doi.org/10.1186/2193-0414-2-7> (in English)

Senanayake G.P., Kieu M., Zou Y., & Dirks K. (2024) Agent-based simulation for pedestrian evacuation: A systematic literature review. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 111, 104705. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2024.104705> (in English)

Teng Q., Wang X., He W., Pan G., & Mao Y. (2024) An investigation into the influence of context effects on crowd exit selection under gender difference in indoor evacuation. *Frontiers in Psychology*, 15, 1417738. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2024.1417738> (in English)

Testa E., Barros R.C., & Musse S.R. (2019) Crowdest: a method for estimating (and not simulating) crowd evacuation parameters in generic environments. *The Visual Computer*, 35(6). — P. 1119-1130. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00371-019-01684-9> (in English)

Wang Y., Ge J., & Comber A. (2022) An agent-based simulation model of pedestrian evacuation based on bayesian nash equilibrium. *arXiv preprint arXiv:2211.14260*. DOI: <https://doi.org/10.48550/arXiv.2211.14260> (in English)

Zablotsky A., Kuperman M., & Bouzat S. (2024) Pedestrian evacuations with imitation of cooperative behavior. *Physical Review E*, 109(5), 054304. DOI: <https://doi.org/10.1103/PhysRevE.109.054304> (in English)

Zhang L., Wu X., Lin H., Zhang M., & Liu Y. (2024) Experimental study on the synchronization mechanism and trigger characteristic density of vertical evacuation in crowds. *Scientific reports*, 14(1), 26182. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-024-77726-7> (in English)

## **Publication Ethics and Publication Malpractice in the journals of the Central Asian Academic Research Center LLP**

For information on Ethics in publishing and Ethical guidelines for journal publication see <http://www.elsevier.com/publishingethics> and <http://www.elsevier.com/journal-authors/ethics>.

Submission of an article to the journals of the Central Asian Academic Research Center LLP implies that the described work has not been published previously (except in the form of an abstract or as part of a published lecture or academic thesis or as an electronic preprint, see <http://www.elsevier.com/postingpolicy>), that it is not under consideration for publication elsewhere, that its publication is approved by all authors and tacitly or explicitly by the responsible authorities where the work was carried out, and that, if accepted, it will not be published elsewhere in the same form, in English or in any other language, including electronically without the written consent of the copyright-holder. In particular, translations into English of papers already published in another language are not accepted.

No other forms of scientific misconduct are allowed, such as plagiarism, falsification, fraudulent data, incorrect interpretation of other works, incorrect citations, etc. The Central Asian Academic Research Center LLP follows the Code of Conduct of the Committee on Publication Ethics (COPE), and follows the COPE Flowcharts for Resolving Cases of Suspected Misconduct ([http://publicationethics.org/files/u2/New\\_Code.pdf](http://publicationethics.org/files/u2/New_Code.pdf)). To verify originality, your article may be checked by the Cross Check originality detection service <http://www.elsevier.com/editors/plagdetect>.

The authors are obliged to participate in peer review process and be ready to provide corrections, clarifications, retractions and apologies when needed. All authors of a paper should have significantly contributed to the research.

The reviewers should provide objective judgments and should point out relevant published works which are not yet cited. Reviewed articles should be treated confidentially. The reviewers will be chosen in such a way that there is no conflict of interests with respect to the research, the authors and/or the research funders.

The editors have complete responsibility and authority to reject or accept a paper, and they will only accept a paper when reasonably certain. They will preserve anonymity of reviewers and promote publication of corrections, clarifications, retractions and apologies when needed. The acceptance of a paper automatically implies the copyright transfer to the Central Asian Academic Research Center LLP.

The Editorial Board of the Central Asian Academic Research Center LLP will monitor and safeguard publishing ethics.

Правила оформления статьи для публикации в журнале смотреть на сайтах:

**[www.nauka-nanrk.kz](http://www.nauka-nanrk.kz)**

**<http://physics-mathematics.kz/index.php/en/archive>**

**ISSN2518-1726 (Online),**

**ISSN 1991-346X (Print)**

Ответственный редактор *А. Ботанқызы*

Редакторы: *Д.С. Аленов, Т. Апендиев*

Верстка на компьютере: *Г.Д. Жадырановой*

Подписано в печать 31.03.2026.

Формат 60x881/8.

20,0 п.л. Заказ 1.