

ISSN 2518-1726 (Online),

ISSN 1991-346X (Print)

**ACADEMIC SCIENTIFIC
JOURNAL OF COMPUTER SCIENCE**

№2

2026

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



CENTRAL ASIAN ACADEMIC
RESEARCH CENTER



**ACADEMIC SCIENTIFIC
JOURNAL OF COMPUTER
SCIENCE**

2 (358)

APRIL – JUNE 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

Abduraimova B.K., Toleukhan A.B., Sapakova S.Z., Abisheva A.A. Development of early cyberattack detection method using CNN-LSTM for IoT.....	11
Aben A.B., Kazbekova G.N., Baimakhanova A.S., Amanzholova A.B. Classification of birds and drones in the sky using MobileNetV2 model.....	30
Akbarov D., Sembayev T. Quality-aware pose–hand keypoint extraction pipeline for skeleton-based sign language recognition.....	44
Algazy K., Alimzhan Y., Sakan K., Nyssanbayeva S. Lattice-based vector commitments for Verkle trees.....	67
Asylkhan N., Baidrakhmanova M.G. Principles and models of spatial organization of buildings for crop production considering technological and climatic factors.....	87
Basheyeva Zh., Tokesh A., Bekish U., Abdoldinova G. Artificial intelligence for academic project management: a bibliometric analysis and systematic review.....	105
Bekmanova G., Kantureyeva M., Omarbekova A., Zakirova A., Issainova A. Integrating artificial intelligence to evaluate emotions in the learning environment.....	125
Dzhusupbekova G.T., Jangassiyev R.M. Gemini AI integration based on .NET MAUI for education: hybrid architecture and empirical load testing.....	146
Doszhan N.S., Sultanbekova L.Ye., Zhumagali S.Zh., Konysbayev E.K. Modeling and parameter calculation of an emergency response system based on LoRaWAN technology in the high-altitude conditions of the Zailiysky Alatau.....	166
Zhumakhanova A., Kudabayeva R., Akanova K., Myrkanova A. Entropy-normalized multidimensional model for user activity segmentation in Reddit...	180
Karabaliyev Y., Kolesnikova K., Khlevnaya Y. HybridKazASR: a hybrid automatic speech recognition system combining multi-model rover fusion and morpheme-aware language modeling for Kazakh.....	198
Kerimkhulle S.E., Adalbek A., Baizakov N.A., Shodorova N.N. Piecewise logistic and fuzzy modeling of Kazakhstan's GDP dynamics (1990–2024)....	212
Kulakayeva A., Ashurov A., Aitmagambetov A., Ongenbayeva Zh. Development of mathematical models and criteria for the admissibility of orbital maneuvers of spacecraft.....	228

Kulatay A.A., Zhaisanova D.S., Daurenbayeva N.A., Mamanova S.Y., Tolegen M. Machine learning for personalized learning in gamified edtech platforms: Aqyl Battle case.....	248
Mamyrbayev O., Kurmetkan T. Enhanced sentiment analysis of e-commerce product reviews using Luong attention-based Bi-LSTM.....	263
Marassulov U.A., Kazbekova G. TF-IDF-based fake news detection in Kazakh and Russian.....	286
Omar A.B., Mussiraliyeva Sh.Zh. Federated learning: models based on transformer architecture.....	302
Rakhimova D., Duisenbekkyzy Zh., Karibayeva A., Eşref A., Ilessova B. Improving the voice recognition system for children in Kazakh through additional training (fine-tuning).....	317
Sarsembayev M, Urmashev B. Optimization of the calculation of kinetic equations of combustion processes on GPU using global memory and shared memory.....	335
Symagulov A., Smurygin V., Belousov A., Karypov A., Yunicheva N.R. Improving the accuracy of crop and weed detection using UAVs in soya fields through image segmentation.....	347
Tashenova Zh., Gabdullin A.R., Abdugulova Zh., Amanzholova Sh., Santeyeva S. Security evaluation of WPA3 wireless networks under deauthentication attack scenarios.....	368
Tursunbayeva G.U., Satybalдина D.Zh., Tleuberdin S.T., Tashatov N.N., Egamberdiyev E.E. Anomaly detection in UAV telemetry systems based on simulation modeling.....	391
Tursynova N., Yerimbetova A., Amangeldy N., Zhumabayeva A., Daiyrbayeva E. Comparative analysis of multilingual transformer models for Kazakh-to-gloss translation.....	414
Shangpeng Lei, Balakayeva G. Dual-branch physical information neural networks for data center airflow velocity and thermal modeling.....	433
Shynzhigit B.B., Balabekova M.O., Amangeldy T.T., Malik G.J., Balgimbekova U.B. Automatic brick defects detection by using a CNN-based deep learning model.....	449

МАЗМҰНЫ

КОМПЬЮТЕРЛІК ҒЫЛЫМДАР

Абдураимова Б.К., Төлеухан Ә.Б., Сапакова С.З., Абишева А.А. Кибершабулдарды ерте анықтау әдісін CNN-LSTM негізінде дамыту (IoT үшін).....	11
Абен А.Б., Қазбекова Г.Н., Баймаханова А.С., Аманжолова Ә.Б. MobileNetV2 моделімен аспандағы құстар мен дрондарды классификациялау.....	30
Ақбаров Д.Р., Сембаев Т.М. Ым тілін тануға арналған дене қалпы мен қолдың негізгі нүктелерін сапаны бақылаумен анықтау әдісі.....	44
Алғазы К.Т., Әлімжан Е.Ж., Сақан Қ.С., Нысанбаева С.Е. Verkle ағаштарына арналған торлық векторлық міндеттемелер.....	67
Асылхан Н., Байдрахманова М.Г. Технологиялық және климаттық факторларды ескере отырып, өсімдік шаруашылығы ғимараттарының кеңістік ұйымдастыру қағидалары мен модельдері.....	87
Башеева Ж., Төкеш Ә., Бекіш Ұ., Абдолдинова Г. Академиялық жобаларды басқарудағы жасанды интеллект: библиометриялық талдау және жүйелі шолу.....	105
Бекманова Г.Т., Кантурсева М.А., Омарбекова А.С., Закирова А.Б., Исайнова А.Н. Оқу ортасындағы эмоцияларды бағалау үшін жасанды интеллектті біріктіру.....	125
Джусупбекова Г.Т., Жангасиев Р.М. Білім беруге арналған .NET MAUI негізіндегі Gemini AI интеграциясы: гибриді архитектура және эмпирикалық жүктемелік тестілеу.....	146
Досжан Н.С., Султанбекова Л.Е., Жумағали С.Ж., Қонысбаев Е.К. Іле Алатауының биік таулы жағдайында LORAWAN технологиясы негізіндегі жедел әрекет ету жүйесінің параметрлерін модельдеу және есептеу.....	166
Жумаханова А., Қудабаева Р., Ақанова К., Мырқанова А. REDDIT-те пайдаланушы әрекетін сегменттеуге арналған энтропия-нормалданған көп өлшемді модель.....	180
Қарабадиев Е., Колесникова К., Хлевная Ю. HybridKazASR: Rover көпмодельді біріктіру және морфемеге негізделген тілдік модельдеуді пайдаланатын қазақ тілін автоматты тану гибриді жүйесі.....	198
Керімқұл С.Е., Адалбек А., Байзақов Н.А., Шодорова Н.Н. Қазақстан ЖІӨ динамикасын кезеңдік (Piecewise) логистикалық және бұлдыр модельдеу (1990–2024).....	212

Кулакаева А.Е., Ашуrow А.Е., Айтмағамбетов А.З., Онгенбаева Ж.Ж. Ғарыш аппараттарының орбиталық маневрлерінің математикалық модельдері мен рұқсат критерийлерін әзірлеу.....	228
Құлатай А.А., Жайсанова Д.С., Дауренбаева Н.А., Маманова С.Е., Төлеген М. Геймификацияланған edtech платформаларда оқытуды жекелендіруге арналған машиналық.....	248
Мамырбаев Ө.Ж., Құрметқан Т. Луонг назар механизміне негізделген BI-LSTM көмегімен электрондық коммерция өнімдеріне жазылған пікірлерге жетілдірілген сентименттік талдау жасау.....	263
Марасулов У.А., Казбекова Г. Қазақ және орыс тілдеріндегі жалған жаңалықтарды TF-IDF арқылы анықтау.....	286
Омар А.Б., Мусиралиева Ш.Ж. Федеративті оқыту: трансформер архитектурасына негізделген модельдер.....	302
Рахимова Д., Дүйсенбекқызы Ж., Кәрібаева А., Ешref А., Ілесова Б. Қазақ тіліндегі балалар дауысын тану жүйесін қосымша оқыту (Fine-Tuning) арқылы жетілдіру.....	317
Сарсембаев М., Урмашев Б. Global memory және shared memory қолдану арқылы GPU-да жану процестерінің кинетикалық теңдеулерін есептеуді оңтайландыру.....	335
Сымагулов А., Смурыгин В., Белоусов А., Карыпов А., Юничева Н.Р. Соя алқаптарында ҰҰА көмегімен мәдени және арамшөп өсімдіктерін детекттеу сапасын кескіндерді сегменттеу арқылы арттыру.....	347
Ташенова Ж.М., Габдуллин А.Р., Абдугулова Ж.К., Аманжолова Ш.А., Сантеева С.Ә. Деатентификациялау шабуылы сценарийлеріндегі WPA3 сымсыз желілерінің қауіпсіздігін бағалау.....	368
Турсунбаева Г., Сатыбалдина Д., Глеубердин С., Ташатов Н., Эгамбердиев Э. Симуляциялық модельдеу негізінде ұшқышсыз ұшу аппараттарының телеметриялық жүйелеріндегі аномалияларды анықтау.....	391
Турсынова Н., Еримбетова А., Амангелді Н., Жумабаева А., Дайырбаева Э. Қазақ тілінен глосска аудару үшін көптілді трансформерлік модельдердің салыстырмалы талдауы.....	414
Шанпэн Лей, Балакаева Г. Деректер орталығының ауа ағынының жылдамдығына және термиялық модельдеуге арналған екі тармақты физикалық ақпараттық нейрондық желілер.....	433
Шынжігіт Ш.Б., Балабекова М.О., Амангелді Т.Т., Мәлік Г.Ж., Балгимбекова У.Б. Кіріш ақауларын автоматты анықтауда snn негізіндегі терең оқыту моделін пайдалану.....	449

СОДЕРЖАНИЕ

КОМПЬЮТЕРНЫЕ НАУКИ

Абдураимова Б.К., Толеухан А.Б., Сапакова С.З., Абишева А.А. Разработка метода раннего обнаружения кибератак на основе CNN-LSTM для IoT.....	11
Абен А.Б., Казбекова Г.Н., Баймаханова А.С., Аманжолова А.Б. Классификация птиц и дронов в небе с использованием модели MobileNetV2.....	30
Акбаров Д.Р., Сембаев Т.М. Метод получения ключевых точек позы и кистей с контролем качества для распознавания жестового языка.....	44
Алгазы К.Т., Алимжан Е.Ж., Сакан К.С., Нысанбаева С.Е. Решеточные векторные обязательства для Verkle-деревьев.....	67
Асылхан Н., Байдрахманова М.Г. Принципы и модели пространственной организации зданий для растениеводства с учетом технологических и климатических факторов.....	87
Башеева Ж., Токеш А., Бекиш У., Абдолдинова Г. Искусственный интеллект в управлении академическими проектами: библиометрический анализ и систематический обзор.....	105
Бекманова Г.Т., Кантуреева М.А., Омарбекова А.С., Закирова А.Б., Исайнова А.Н. Интеграция искусственного интеллекта для оценки эмоций в учебной среде.....	125
Джусупбекова Г.Т., Джангасиев Р.М. Интеграция Gemini AI на базе .NET MAUI для образования: гибридная архитектура и эмпирическое нагрузочное тестирование.....	146
Досжан Н.С., Султанбекова Л.Е., Жумагали С.Ж., Коньсбаев Е.К. Моделирование и расчет параметров системы экстренного реагирования на базе технологии LoRaWAN в условиях высокогорья Заилийского Алатау.....	166
Жумаханова А., Кудабаева Р., Аканова К., Мырканова А. Энтропийно-нормализованная многомерная модель для сегментации активности пользователей в Reddit.....	180
Карабалиев Е., Колесникова К., Хлевна Ю. HybridKazASR: гибридная система автоматического распознавания казахской речи на основе многомодельного объединения ROVER и морфемно-ориентированного языкового моделирования.....	198
Керимкулов С.Е., Адалбек А., Байзаков Н.А., Шодорова Н.Н. Кусочно-логистическое и нечеткое моделирование динамики ВВП Казахстана (1990–2024).....	212
Кулакаева А.Е., Ашуров А.Е., Айтмагамбетов А.З., Онгенбаева Ж.Ж. Разработка математических моделей и критериев допустимости орбитальных маневров космических аппаратов.....	228

Кулатай А.А., Жайсанова Д.С., Дауренбаева Н.А., Маманова С.Е., Толеген М. Машинное обучение для персонализации обучения на геймифицированных EdTech-платформах: кейс Aqyl Battle.....	248
Мамырбаев О., Курметкан Т. Усовершенствованный анализ тональности отзывов о товарах электронной коммерции с использованием Bi-LSTM на основе механизма внимания Луонга.....	263
Марасулов У.А., Казбекова Г. Выявление ложных новостей на казахском и русском языках TF-IDF-моделями.....	286
Омар А.Б., Мусиралиева Ш.Ж. Федеративное обучение: модели на основе архитектуры трансформеров.....	302
Рахимова Д., Дуйсенбеккызы Ж., Карибаева А., Еҫref А., Илесова Б. Совершенствование системы распознавания голоса детей на казахском языке путем дополнительного обучения (fine-tuning).....	317
Сарсембаев М., Урмашев Б. Оптимизация расчета кинетических уравнений процессов горения на GPU с использованием global memory и shared memory.....	335
Сымагулов А., Смурыгин В., Белоусов А., Карыпов А., Юничева Н.Р. Улучшение качества детектирования культурных и сорных растений с помощью БПЛА на полях сои с применением сегментации изображений.....	347
Ташенова Ж.М., Габдуллин А.Р., Абдугулова Ж.К., Аманжолова Ш.А., Сантеева С.А. Оценка безопасности беспроводных сетей WPA3 в условиях атаки с деаутентификацией.....	368
Турсунбаева Г., Сатыбалдина Д., Тлеубердин С., Ташатов Н., Эгамбердиев Э. Обнаружение аномалий в телеметрических системах БПЛА на основе симуляционного моделирования.....	391
Турсынова Н., Еримбетова А., Амангелді Н., Жумабаева А., Дайырбаева Э. Сравнительный анализ многоязычных трансформерных моделей для перевода с казахского языка на глоссированное представление.....	414
Шанпэн Лэй, Балакаева Г. Двухветвевые физически информированные нейронные сети для моделирования воздушных потоков и тепловых условий в центрах обработки данных.....	433
Шынжыгит Ш.Б., Балабекова М.О., Амангелды Т.Т., Малик Г.Ж., Балгимбекова У.Б. Использование модели глубокого обучения на основе CNN для автоматического обнаружения дефектов кирпичной кладки.....	449

ACADEMIC SCIENTIFIC JOURNAL OF COMPUTER SCIENCE
ISSN 1991-346X
Volume 2.
Number 358 (2026). 166–179

<https://doi.org/10.32014/2026.2518-1726.432>

IRSTI 49.03.03
UDC 654.165

© **Doszhan N.S.**^{1,2}, **Sultanbekova L.Ye.**², **Zhumagali S.Zh.**²,
Konysbayev E.K.², 2026.

¹ Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan;

² Institute of space technique and technology, Almaty, Kazakhstan;
E-mail: sultanbekova.l@istt.kz

**MODELING AND PARAMETER CALCULATION
OF AN EMERGENCY RESPONSE SYSTEM BASED ON LORAWAN
TECHNOLOGY IN THE HIGH-ALTITUDE CONDITIONS OF THE
ZAILIYSKY ALATAU**

Doszhan Nursultan — PhD, Project Supervisor, Deputy Dean for Research, Innovation, and International Relations, Al-Farabi Kazakh National University; Institute of space technique and technology, Almaty, Kazakhstan,
E-mail: nursultan.sagynaiuly@kaznu.kz, <https://orcid.org/0000-0001-6178-8389>;

Sultanbekova Leila — Deputy Director for Advanced Projects, Institute of space technique and technology, Almaty, Kazakhstan,
E-mail: sultanbekova.l@istt.kz, <https://orcid.org/0009-0002-1651-616X>;

Zhumagali Sabyrzhan — Chief Project Engineer, Institute of space technique and technology, Almaty, Kazakhstan,
E-mail: zhumagali.s@istt.kz, <https://orcid.org/0009-0007-5995-4377>;

Konysbayev Erkegali — Category II Engineer, Institute of space technique and technology, Almaty, Kazakhstan,
E-mail: konysbaev.e@istt.kz, <https://orcid.org/0009-0009-1880-1838>.

Abstract. This paper presents an emergency response and monitoring system based on the LoRaWAN network architecture, designed for deployment in high-altitude regions such as the routes of the Zailiysky Alatau. The main problem addressed by this system is the difficulty of conducting rescue operations due to the lack of communication in deep canyons and gorges, where conventional mobile networks are ineffective. Within the study, numerical modeling of a network consisting of three base stations spaced 10 km apart was performed using the RadioPlanner 3.0 software environment. In addition, the energy parameters of the radio channel were calculated, with total losses ranging from 126.21 to 131.21 dB. The radius of the first Fresnel zone was also determined to be 29.42 m. The obtained results indicate that the heterogeneity of coverage areas and the

presence of weak signal zones are caused by terrain-induced physical shielding and obstruction of the Fresnel zone. A distinctive feature of this study is the use of the Longley–Rice propagation model and the consideration of diffraction losses (up to 20 dB), which made it possible to confirm a link margin of up to 23.79 dB and demonstrate the feasibility of establishing reliable communication under radio shadow conditions. The results can be applied to the deployment of emergency response systems in mountainous environments for monitoring tourist conditions and coordinating search-and-rescue operations in extreme high-altitude areas.

Keywords: LoRaWAN, high-altitude regions, Fresnel zone, Longley–Rice model, line-of-sight, emergency response system, tourists, communication

Financing. *This research is funded by the Science Committee of the Ministry of Education and Science of the Republic of Kazakhstan (Grant No. AP26103091 “Development of an emergency response system to ensure the safety of tourists on mountain routes”)*

For citations: Doszhan N.S.,² Sultanbekova L.Ye., Zhumagali S.Zh., Konysbayev E.K. Modeling and parameter calculation of an emergency response system based on LoRaWAN technology in the high-altitude conditions of the Zailiysky Alatau. Academic Scientific Journal of Computer Science, 2026. — No.2. – P. 166–179. DOI <https://doi.org/10.32014/2026.2518-1726.432>

© Досжан Н.С.^{1,2}, Султанбекова Л.Е.², Жумагали С.Ж.²,
Конысбаев Е.К.², 2026.

¹ Өл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан;

² «Ғарыштық техника және технологиялар институты» ЖШС,

Алматы, Қазақстан.

E-mail: sultanbekova.l@istt.kz

ІЛЕ АЛАТАУЫНЫҢ БИІК ТАУЛЫ ЖАҒДАЙЫНДА LORAWAN ТЕХНОЛОГИЯСЫ НЕГІЗІНДЕГІ ЖЕДЕЛ ӘРЕКЕТ ЕТУ ЖҮЙЕСІНІҢ ПАРАМЕТРЛЕРІН МОДЕЛЬДЕУ ЖӘНЕ ЕСЕПТЕУ

Досжан Нұрсұлтан — PhD, жобаның ғылыми жетекшісі, ғылыми-инновациялық қызмет және халықаралық байланыстар жөніндегі деканның орынбасары, Өл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті; «Ғарыштық техника және технологиялар институты» ЖШС, Алматы, Қазақстан,

E-mail: nursultan.sagynaiuly@kaznu.kz, <https://orcid.org/0000-0001-6178-8389>;

Султанбекова Лейла — директордың перспективалық жобалар жөніндегі орынбасары, Ғарыштық техника және технологиялар институты, Алматы, Қазақстан,

E-mail: sultanbekova.l@istt.kz, <https://orcid.org/0009-0002-1651-616X>;

Жумагали Сабыржан — жобаның бас инженері, Ғарыштық техника және технологиялар институты, Алматы, Қазақстан,

E-mail: zhumagali.s@istt.kz, <https://orcid.org/0009-0007-5995-4377>;

Қонысбаев Еркеғали — 2-санатты инженер, Ғарыштық техника және технологиялар институты, Алматы, Қазақстан,
E-mail: konysbaev.e@istt.kz, <https://orcid.org/0009-0009-1880-1838>.

Аннотация. Осы мақалада LoRaWAN желі архитектурасына негізделген және Іле Алатауы бағыттары сияқты биік таулы аймақтарда қолдануға арналған жедел әрекет ету және мониторинг жүйесі қарастырылады. Ұсынылған жүйенің шешетін негізгі мәселе – терең шатқалдар мен аңғарларда байланыстың болмауына байланысты құтқару операцияларын жүргізу, себебі мұндай жерлерде дәстүрлі ұялы байланыс тиімсіз жұмыс істейді. Зерттеу аясында RadioPlanner 3.0 бағдарламалық ортасында арақашықтығы 10 км болатын 3 базалық станциядан тұратын желінің сандық модельдеуі жүргізілді. Сонымен қатар радиоканалдың энергетикалық параметрлері есептеліп, жиынтық шығындар 126,21–131,21 дБ аралығында анықталды. Бірінші Френель аймағының радиусы 29,42 м екені есептелді. Алынған нәтижелер жабын аймақтарының біркелкі еместігі мен әлсіреген сигнал аймақтарының пайда болуы жер бедерінің физикалық экрандау әсерімен және Френель аймағының жабылуымен байланысты екенін көрсетті. Зерттеудің ерекшелігі – Longley–Rice моделі қолданылуы және дифракциялық шығындардың (20 дБ-ге дейін) ескерілуі болып табылады. Бұл байланыс арнасы қорының 23,79 дБ-ге дейін жететінін растауға және радиокөлеңке жағдайында тұрақты байланысты ұйымдастыру мүмкіндігін дәлелдеуге мүмкіндік берді. Зерттеу нәтижелері биік таулы аймақтарда туристердің жағдайын бақылау және іздестіру-құтқару жұмыстарын үйлестіру үшін жедел әрекет ету жүйелерін орналастыруда қолданылуы мүмкін.

Түйін сөздер: LoRaWAN, биік таулы аймақтар, Френель аймағы, Longley–Rice моделі, радиокөріну, жедел әрекет ету жүйесі, туристер, байланыс

© Досжан Н.С.^{1,2}, Султанбекова Л.Е.², Жумағали С.Ж.²,
Қонысбаев Е.К.², 2026.

¹ Казахский национальный университет имени аль-Фараби,
Алматы, Казахстан;

² Институт космической техники и технологий, Алматы, Казахстан;
E-mail: sultanbekova.l@istt.kz

МОДЕЛИРОВАНИЕ И РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ СИСТЕМЫ ЭКСТРЕННОГО РЕАГИРОВАНИЯ НА БАЗЕ ТЕХНОЛОГИИ LORAWAN В УСЛОВИЯХ ВЫСОКОГОРЬЯ ЗАИЛИЙСКОГО АЛАТАУ

Досжан Нұрсұлтан — PhD, научный руководитель проекта, заместитель декана по научно-инновационной деятельности и международным связям Казахского национального университета имени аль-Фараби; Институт космической техники и технологий, Алматы, Казахстан,

E-mail: nursultan.sagynaiuly@kaznu.kz, <https://orcid.org/0000-0001-6178-8389>;

Султанбекова Лейла — заместитель директора по перспективным проектам, Институт космической техники и технологий, Алматы, Казахстан,

E-mail: sultanbekova.l@istt.kz, <https://orcid.org/0009-0002-1651-616X>;

Жұмағали Сабыржан — главный инженер проекта, Институт космической техники и технологий, Алматы, Казахстан,

E-mail: zhumagali.s@istt.kz, <https://orcid.org/0009-0007-5995-4377>;

Коньсбаев Еркеғали — инженер 2-й категории, Институт космической техники и технологий, Алматы, Казахстан,

E-mail: konysbaev.e@istt.kz, <https://orcid.org/0009-0009-1880-1838>.

Аннотация. *Актуальность.* В статье рассматривается система экстренного реагирования и мониторинга, основанная на архитектуре сети LoRaWAN и предназначенная для использования в высокогорных районах, включая маршруты Заилийского Алатау. Актуальность исследования обусловлена сложностью проведения спасательных операций в глубоких каньонах и ущельях, где стандартная мобильная связь является неэффективной или недоступной. В таких условиях требуется создание устойчивой низкоэнергетической сети связи для мониторинга состояния туристов и координации поисково-спасательных работ. *Цель.* Смоделировать и рассчитать параметры системы экстренного реагирования на базе технологии LoRaWAN для оценки возможности организации устойчивой связи в условиях высокогорного рельефа Заилийского Алатау. *Методы.* В рамках исследования проведено численное моделирование сети из трех базовых станций, расположенных с шагом 10 км, в программной среде RadioPlanner 3.0. Рассчитаны энергетические параметры радиоканала с суммарными потерями от 126,21 до 131,21 дБ. Также определен радиус первой зоны Френеля, равный 29,42 м. Для оценки распространения радиосигнала использована модель Longley–Rice с учетом дифракционных потерь, достигающих 20 дБ. *Результаты и выводы.* Полученные данные показывают, что неоднородность зон покрытия и наличие участков с ослабленным сигналом обусловлены физическим экранированием рельефа и перекрытием зоны Френеля. Использование модели Longley–Rice и учет дифракционных потерь позволили подтвердить наличие запаса по радиоканалу до 23,79 дБ и доказать возможность организации устойчивой связи в условиях радиотени. Результаты исследования могут быть использованы при развертывании систем экстренного реагирования в горных районах, предназначенных для мониторинга состояния туристов и координации поисково-спасательных работ в экстремальных высокогорных условиях.

Ключевые слова: LoRaWAN, высокогорье, зона Френеля, модель Longley–Rice, радиовидимость, система экстренного реагирования, туристы, связь, поисково-спасательные работы

Введение. С 2000 по 2020 год число зарегистрированных в мире природных катастроф увеличилось более чем на 80%, что свидетельствует

о значительном росте экологической нестабильности (Zhan et al., 2025). Примером служат масштабные обрушения ледников и скал, такие как инцидент 2021 года в Индийских Гималаях, которые приводят к мгновенному разрушению инфраструктуры и гибели людей (Wang et al., 2023). Для заблаговременного предупреждения о подобных опасностях в зонах активного туризма используются современные системы мониторинга, например, Xenios, применяющая сетку метеорологических прогнозов с разрешением 1 x 1 км (Psaroudakis et al., 2021). В высокогорных условиях смертность остается критически высокой. Только на Эвересте за последнее столетие зарегистрировано 305 летальных исходов (Sharma et al., 2023). Статистика показывает ежегодный рост числа пропавших без вести альпинистов и несчастных случаев на горных маршрутах (Affrylia et al., 2021). Спасательные операции осложняются высокой скоростью ветра, достигающей в среднем 9,5 м/с, что ограничивает использование вертолетов и стандартных беспилотных аппаратов для оперативной доставки помощи (Wankmüller et al., 2020).

Литературный обзор. Традиционные средства связи часто оказываются недостаточно мобильными и гибкими в условиях пересеченного рельефа (Zhao et al., 2019). Потеря соединения является причиной крушения 52% дронов-спасателей, что требует внедрения отказоустойчивых сетевых архитектур (Ejaz et al., 2019). Полевые испытания показывают, что переносные комплексы управления должны обеспечивать радиус связи 15–20 км для эффективной визуальной диспетчеризации в зонах чрезвычайных ситуаций (Wang et al., 2023).

Интеграция концепции «Интернета экстренных служб» (IoES) позволяет существенно улучшить сбор данных в реальном времени с использованием подключенных устройств (Damaševičius et al., 2023). Логические SAT-решатели способны оперативно, за одну секунду или быстрее, обнаруживать контекстные угрозы для туристов, обеспечивая проактивное реагирование системы (Klimek et al., 2024). Точность ИИ-моделей на базе YOLOv5 при идентификации очагов возгорания и задымления в лесных массивах достигает 98,7% (Avazov et al., 2023).

Сообщения об инцидентах в удаленных районах часто поступают с задержкой в часы или дни, что может оказаться фатальным при медицинских осложнениях (Mundargi et al., 2025). Социальные медиа, например, Twitter, реагируют на новости о бедствиях быстрее традиционных СМИ, что делает их важным инструментом первичной детекции событий для служб безопасности (Aboualola et al., 2023). При этом рискам подвергаются и сами спасатели: зафиксированы случаи гибели трех членов общественных отрядов в течение восьми дней при выполнении одной задачи (Wang et al., 2024).

Таким образом, несмотря на развитие технологий, специфика распространения радиосигнала LoRaWAN в экстремально сложном рельефе Заилийского Алатау остается недостаточно изученной. Отсутствуют точные

расчетные данные о дифракционных потерях и устойчивости энергетического бюджета канала при межстанционных расстояниях в 10 км в условиях глубокого экранирования. Также не определены критические пороги перекрытия зоны Френеля, при которых сохраняется работоспособность сети экстренного мониторинга в горных ущельях. Следовательно, исследования, посвященные разработке систем экстренного реагирования в горных условиях, представляются весьма актуальными.

В данной работе представлено численное моделирование сети из трех БС LoRaWAN. Будут продемонстрированы расчеты энергетических параметров радиоканала, включая определение запаса по мощности и оценку дифракционных потерь. Также будут приведены параметры первой зоны Френеля для трасс протяженностью 10 км и обоснована возможность создания устойчивого «информационного кольца» связи для обеспечения безопасности туристов в зонах радиотени.

Материалы и методы исследования. В исследовании применен комплексный подход, включающий теоретический анализ, численное моделирование и верификацию полученных результатов. Основное внимание уделено оценке функционирования системы экстренного реагирования в сложных условиях горного рельефа. В качестве объекта исследования выбраны горные маршруты Заилийского Алатау, где распространение радиосигнала затруднено из-за перепадов высот, экранирования и зон радиотени.

Теоретическая часть исследования основана на теории распространения радиоволн в пересеченной местности. Для расчета потерь сигнала использована модель Longley–Rice (Hufford et al., 1982), учитывающая профиль рельефа, дифракционные потери и особенности трассы между передатчиком и приемником. Дополнительно проведен анализ первой зоны Френеля для оценки радиовидимости и выявления участков, где препятствия могут существенно ухудшить качество связи.

Численное моделирование выполнено в программной среде RadioPlanner 3.0. В ходе моделирования заданы параметры сети LoRaWAN (таблица 1)

Таблица 1 – Технические характеристики сети LoRaWAN

Параметр	LoRa (868 МГц)
Дальность (прямая видимость)	до 15-20 км
Выходная мощность передатчика	2 Вт (≈ 33 дБм)
Дальность (в ущелье)	10 км (зависит от рельефа)
Энергопотребление (передача SOS)	4–6 Вт
Энергоемкость аккумулятора	≈ 620 Вт·ч
Время автономной работы (1 сигнал в час)	до 20–30 суток
Время автономной работы (непрерывная передача)	≈ 100 –120 часов (4–5 суток)
Пропускная способность	0,3-55 кбит/с
Задержка (латентность)	1-3 секунды
Требования к инфраструктуре	Низкие (1 шлюз на 10-15 км)

Для горного сценария в модель введены цифровые данные о рельефе и профили трасс в ущельях и на склонах. Методика исследования включала построение профилей трасс, определение участков с потенциально неустойчивой связью. Рассмотрены случаи прямой видимости и ситуации, когда сигнал распространяется в условиях частичного или полного экранирования рельефом. Для оценки устойчивости канала связи использован вероятностный подход, учитывающий влияние рельефа, погодных факторов и резервирования каналов передачи. Адекватность подхода подтверждена сопоставлением расчетных данных с ожидаемыми закономерностями распространения радиоволн.

Результаты. Для оценки условий распространения радиосигнала на маршрутах, типичных для Заилийского Алатау, был выполнен расчет радиолинии в горной местности. Целью расчета являлось определение потерь сигнала, запаса по каналу и выявление участков потенциального ухудшения связи при сохранении единой конфигурации сети.

Расчет параметров радиоканала для схемы из 3-х базовых станций (БС) LoRaWAN. При расчетах предполагалось, что расстояние между соседними БС составляет 10 км. Расчет включал в себя определение потерь в свободном пространстве, суммарных потерь на участке между БС и запаса по мощности сигнала.

Потери в свободном пространстве определялись по формуле (ITU-R, P.525-4, P.526-15, 2019):

$$L_{fs} = 20\log_{10}(d) + 20\log_{10}(f) + 32,44,$$

где d – расстояние, км; f – частота, МГц.

В расчетной модели в качестве рабочей частоты используется 868 МГц, стандартная для рассматриваемой сети LoRaWAN. Подстановка этого значения в формулу потерь в свободном пространстве дает следующее выражение:

$$L_{fs} = 20\log_{10}(d) + 91,21.$$

Для расчетов было взято расстояние в 10 км, что соответствует расстоянию между соседними БС LoRaWAN в рассматриваемой области.

$$L_{fs} = 20\log_{10}(10) + 91,21 = 20 + 91,21 = 111,21 \text{ дБ.}$$

Дифракционные потери были учтены при расчете трассы между горными БС. Для участков с выраженным влиянием рельефа использовались два расчетных значения:

$$L_{diff1} = 15 \text{ дБ}, L_{diff2} = 20 \text{ дБ.}$$

Тогда суммарные потери составляют:

$$L_{total1} = 111,21 + 15 = 126,21 \text{ дБ},$$

$$L_{total2} = 111,21 + 20 = 131,21 \text{ дБ}.$$

Максимально допустимые потери канала:

$$L_{max} = P_{tx} - P_{rx} = 20 - (-130) = 150 \text{ дБ}.$$

Запас по каналу для двух вариантов трассы:

$$M_1 = 150 - 126,21 = 23,79 \text{ дБ},$$

$$M_2 = 150 - 131,21 = 18,79 \text{ дБ}.$$

Дифракционные потери на межстанционной трассе определяются профилем рельефа и степенью перекрытия первой зоны Френеля. На участках, типичных для Заилийского Алатау, встречаются как частично экранированные зоны, так и зоны с выраженными перегибами трассы. В расчетах использованы два значения дифракционных потерь для случаев частичного перекрытия и для более сложных условий распространения сигнала. Эти значения были применены при расчете параметров радиоканала на межстанционной трассе протяженностью 10 км. Результаты расчетов представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Параметры радиоканала при межстанционном расстоянии 10 км

Параметр	Вариант 1 (15 дБ)	Вариант 2 (20 дБ)
Расстояние между БС, км	10	10
L_{fs} , дБ	111,21	111,21
L_{diff} , дБ	15	20
L_{total} , дБ	126,21	131,21
L_{max} , дБ	150	150
Запас по каналу, дБ	23,79	18,79

Для анализа параметров радиоканала в горной местности было проведено моделирование схемы размещения трех БС LoRaWAN и рассчитаны характеристики межстанционных трасс. Результаты моделирования, в том числе карта зоны покрытия и профили трасс, представлены на рисунке 1.

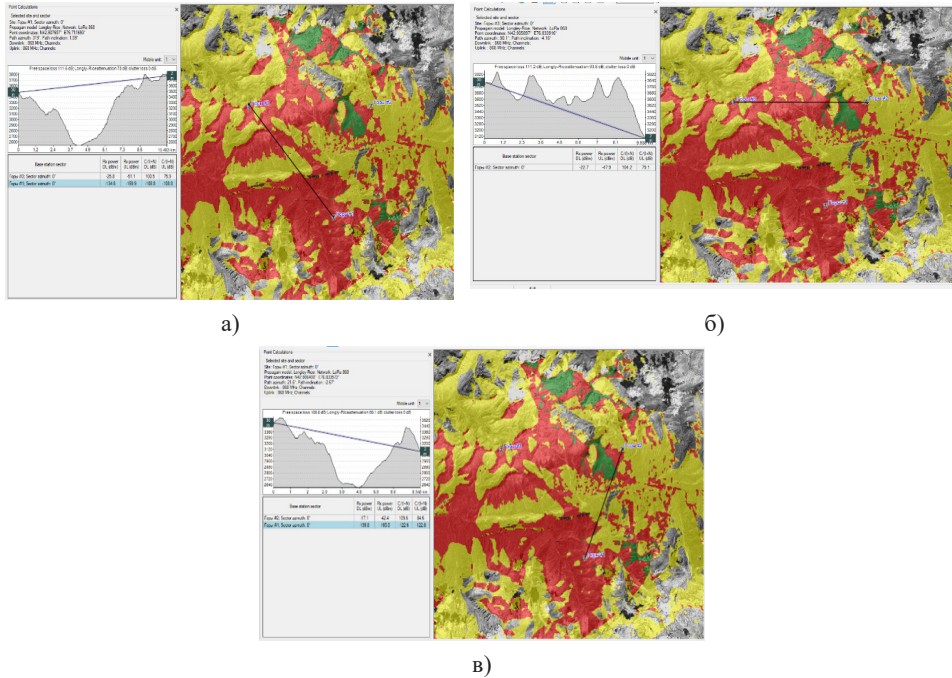


Рисунок 1 – Расчетная схема размещения 3-х БС LoRaWAN в горной местности:
 а – профиль трассы «БС №3 – БС №1»; б – профиль трассы «БС №3 – БС №2»;
 в – профиль трассы «БС №2 – БС №1»

Расчет параметров зоны Френеля для участка между БС. Выполнен расчет для участка трассы между двумя соседними БС, расстояние между которыми составляет 10 км. Для оценки условий распространения сигнала использован расчет первой зоны Френеля.

Радиус первой зоны Френеля определялся по формуле:

$$R_{F1} = 17,32 \sqrt{\frac{d_1 d_2}{f(d_1 + d_2)'}}$$

где d_1 и d_2 – расстояния от препятствия до передатчика и приемника, км;
 f – частота, ГГц.

Для препятствия, расположенного в середине трассы, принимаем:

$$d_1 = d_2 = 5 \text{ км}, f = 0,868 \text{ ГГц.}$$

Следовательно:

$$R_{F1} = 17,32 \sqrt{\frac{5 \cdot 5}{0,868(5 + 5)}} = 17,32 \sqrt{\frac{25}{8,68}} = 17,32 \sqrt{2,88} = 29,42 \text{ м.}$$

Предельно допустимое перекрытие 40%:

$$R_{crit} = 0,4 \cdot 29,42 = 11,77 \text{ м.}$$

Расчет параметров первой зоны Френеля произведен для межстанционной трассы длиной 10 км. При этом предполагалось, что наиболее значимое препятствие находится посередине трассы, то есть на расстоянии 5 км как от передающей, так и от приемной БС. Рассчитанные параметры первой зоны Френеля представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Параметры первой зоны Френеля для межстанционной трассы 10 км

Параметр	Значение
Полная длина трассы, км	10
d_1 , км	5
d_2 , км	5
Частота, ГГц	0,868
R_{F1} , м	29,42
40% перекрытия, м	11,77

Расчетный радиус первой зоны Френеля для межстанционной трассы длиной 10 км составляет 29,42 м, а допустимое перекрытие – 11,77 м.

Расчет структуры сети для схемы из трех БС. Базовая конфигурация сети состоит из трех узлов доступа, расположенных в горной местности на расстоянии 10 км друг от друга.

Число основных БС:

$$N_{gw} = 3.$$

Число межстанционных участков в контуре:

$$N_{link} = 3.$$

Суммарная длина межстанционных участков:

$$L_{\Sigma} = 3 \cdot 10 = 30 \text{ км.}$$

Сеть состоит из 3-х БС, соединенных тремя межстанционными участками. Общая протяженность межстанционных трасс составляет 30 км. Подробные параметры структуры сети представлены в таблице 4.

Таблица 4 – Структура сети из 3-х БС

Параметр	Значение
Число БС LoRaWAN	3
Расстояние между соседними БС, км	10

Число межстанционных трасс	3
Суммарная длина межстанционных трасс, км	30
Сетевой сервер	1
Резервный внешний канал	1

Для оценки пространственного распределения сигнала было проведено моделирование зоны покрытия сети LoRaWAN, состоящей из трех БС. Полученная карта покрытия для данной конфигурации представлена на рисунке 2.

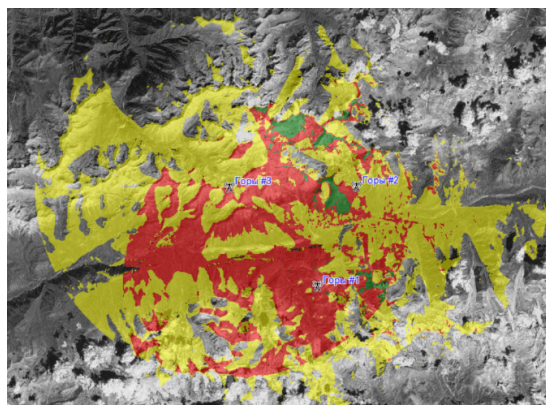


Рисунок 2 – Карта расчетной зоны покрытия для трех БС LoRaWAN

На карте показаны зоны покрытия 3-х БС, расположенных на расстоянии около 10 км друг от друга. Зоны покрытия характеризуются неоднородной пространственной структурой, что обусловлено рельефом местности. Вместо классической круговой формы области уверенного приема приобретают выраженный анизотропный характер. Под влиянием специфики ущелий и склонов Заилийского Алатау они трансформируются в вытянутые структуры, ориентированные вдоль направлений с минимальными препятствиями, что позволяет сигналу распространяться вглубь каньонов даже при значительных дифракционных потерях. В пределах исследуемой территории выделяются участки с различным уровнем сигнала, которые соответствуют расчетным значениям, полученным в программе RadioPlanner 3.0. Общая площадь покрытия формируется за счет объединения зон действия всех трех БС. Перекрывание зон наблюдается в центральной части исследуемого участка. Снижение уровня сигнала зафиксировано в местах перегибов рельефа и на значительном удалении от БС.

Обсуждение. Моделирование сети из трех БС, расположенных с шагом 10 км и работающих на частоте 868 МГц, показало наличие запаса по мощности сигнала в диапазоне от 18,79 до 23,79 дБ. Общие потери в канале связи составляют 126,21–131,21 дБ, включая дифракционные потери (15–20 дБ), обусловленные рельефом Заилийского Алатау. Расчет радиуса

первой зоны Френеля (29,42 м) и предела перекрытия (11,77 м) позволяет определить границы устойчивости сигнала при его распространении через горные хребты. Результаты моделирования подтверждают возможность использования технологии LoRaWAN для организации связи в зонах, где отсутствует покрытие GSM.

Стоит отметить, что несмотря на положительные результаты, у данной модели есть ограничения. Численный эксперимент проводился только для базового сценария с тремя БС. Кроме того, расчеты не учитывали потери сигнала в густой растительности и влияние специфических метеоусловий Заилийского Алатау, что в реальных условиях может привести к уменьшению запаса по каналу. Кроме того, используемая модель Longley–Rice и цифровая модель рельефа местности не принимают во внимание локальные особенности среды, такие как плотность растительности и метеорологические факторы (в частности, средняя скорость ветра 9,5 м/с, ограничивающая возможности спасательной авиации). Карта покрытия сети демонстрирует неоднородность с участками ослабленного сигнала в зонах перегибов рельефа и глубоких каньонах. Следовательно, при моделировании топологии сети LoRaWAN в высокогорье целесообразно отходить от идеализированных моделей в пользу учета продолговатой формы зон покрытия. Ориентация этих областей по конфигурации рельефа позволяет более эффективно использовать расчетный запас по мощности для перекрытия зон радиотени, где стандартная мобильная связь оказывается неэффективной.

Внедрение систем экстренного реагирования в горных условиях в Заилийском Алатау направлено на снижение трудности со связью на туристических маршрутах. Для дальнейшего развития данной системы требуется оптимизировать размещение БС с учетом реальных профилей трасс и увеличить общее количество узлов сети. Перспективным направлением является создание гибридной архитектуры, интегрирующей LoRaWAN с низкоорбитальными спутниковыми системами, что позволит обеспечить передачу данных на участках с полным экранированием сигнала.

Заключение. Проведенное исследование подтвердило гипотезу о создании устойчивой системы связи в сложном горном рельефе. Энергоэффективные сети дальнего радиуса действия эффективно преодолевают препятствия, создаваемые горными хребтами и глубокими ущельями. Архитектура данной системы обеспечивает сохранение сигнала даже при частичном перекрытии трассы, что делает технологию пригодной для работы в зонах, где отсутствует стандартное покрытие.

Научная значимость результатов заключается в обосновании параметров распространения радиоволн в условиях радиотени. Выявленные закономерности позволяют точно прогнозировать поведение радиоканала и учитывать влияние дифракции на пересеченной местности. Это формирует теоретическую базу для проектирования надежных систем экстренного оповещения, работающих в экстремальных условиях.

Практическая реализация предложенных решений направлена на развитие инфраструктуры для систем экстренного реагирования в горных условиях. Развертывание такой сети обеспечит постоянный мониторинг состояния туристов и оперативную передачу сигналов бедствия. Независимость системы от ограничений, накладываемых погодными факторами на спасательную авиацию, критически важна для своевременного оказания помощи.

Дальнейшее развитие темы предполагает изучение влияния экстремальных метеорологических нагрузок и низких температур на стабильность оборудования. Основное внимание будет уделено оптимизации расположения узлов для устранения неоднородностей в зонах покрытия. Перспективным подходом к такой оптимизации станет уточнение геометрии зон радиовидимости и их представление в виде вытянутых областей, что более корректно отражает физику распространения сигнала в экстремально сложном рельефе и повышает точность прогнозирования устойчивости системы экстренного мониторинга.

References

Aboualola M., Abualsaud K., Khattab T., Zorba N., & Hassanein H.S. (2023) Edge technologies for disaster management: A survey of social media and artificial intelligence integration. *IEEE Access*, 11. — P. 73782–73802. (in Eng.)

Affrylia G., Fadhli M., & Lindawati L. (2021) Perancangan emergency button untuk pendaki gunung dengan sistem komunikasi multihop berbasis LoRa. *PROtek: Jurnal Ilmiah Teknik Elektro*, 8(2). — P. 96. (in Eng.)

Avazov K., Hyun A.E., Sami S.A., Khaitov A., Abdusalomov A.B., & Cho Y.I. (2023) Forest fire detection and notification method based on AI and IoT approaches. *Future Internet*, 15(2). — P. 61. (in Eng.)

Damaševičius R., Bacanin N., & Misra S. (2023) From sensors to safety: Internet of Emergency Services (IoES) for emergency response and disaster management. *Journal of Sensor and Actuator Networks*, 12(3). — P. 41. (in Eng.)

Ejaz W., Azam M.A., Saadat S., Iqbal F., & Hanan A. (2019) Unmanned aerial vehicles enabled IoT platform for disaster management. *Energies*, 12(14). — P. 2706. (in Eng.)

Hufford G.A., Longley A.G., & Kissick W.A. (1982) A guide to the use of the ITS Irregular Terrain Model in the area prediction mode (NTIA Report 82-100). U.S. Department of Commerce, National Telecommunications and Information Administration. Available at: https://its.ntia.gov/publications/download/82-100_ocr.pdf (in Eng.)

International Telecommunication Union Radiocommunication Sector (ITU-R). (2019) Recommendation ITU-R P.525-4: Calculation of free-space attenuation. Available at: https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/p/R-REC-P.525-4-201908-S%21%21PDF-E.pdf (in Eng.)

International Telecommunication Union Radiocommunication Sector (ITU-R). (2019) Recommendation ITU-R P.526-15: Propagation by diffraction. Available at: https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/p/R-REC-P.526-15-201910-S!!PDF-E.pdf (in Eng.)

Klimek R. (2024) Ambient-aware continuous aid for mountain rescue activities. *Information Sciences*, 653. — P. 119772. (in Eng.)

Mundargi Prof. (2025) IoT-based advanced monitoring system for outdoor safety. *International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology*, 13. — P. 1089–1093. (in Eng.)

Psaroudakis C., Xanthopoulos G., Stavrakoudis D., Barnias A., Varela V., Gkotsis I., ... & Gitas I.Z. (2021) Development of an early warning and incident response system for the protection of

visitors from natural hazards in important outdoor sites in Greece. *Sustainability*, 13(9). — P. 5143. (in Eng.)

Sharma D.R., Raghuwanshi R.R., Chandak T., & Ramdasi D. (2023) LoRa-based IoT system for emergency assistance and safety in mountaineering. *International Journal of Safety & Security Engineering*, 13(3). (in Eng.)

Wang M., Zhang H., Luo Y., & Xu M. (2024) Comprehensive risk management of health, safety and environment for social emergency rescue organization. *Heliyon*, 10(1). (in Eng.)

Wang Q., Li W., Yu Z., Abbasi Q., Imran M., Ansari S., ... & Zhu T. (2023) An overview of emergency communication networks. *Remote Sensing*, 15(6). — P. 1595. (in Eng.)

Wankmüller C., Truden C., Korzen C., Hungerländer P., Kolesnik E., & Reiner G. (2020) Optimal allocation of defibrillator drones in mountainous regions. *OR Spectrum*, 42(3). — P. 785–814. (in Eng.)

Zhang H., Zhang R., & Sun J. (2025) Developing real-time IoT-based public safety alert and emergency response systems. *Scientific Reports*, 15(1). — P. 29056. (in Eng.)

Zhao N., Lu W., Sheng M., Chen Y., Tang J., Yu F.R., & Wong K.K. (2019) UAV-assisted emergency networks in disasters. *IEEE Wireless Communications*, 26(1). — P. 45–51. (in Eng.)

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). 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.

Requirements for articles design for publication in the journal are available on the websites:

**www.nauka-nanrk.kz
<http://physics-mathematics.kz/index.php/en/archive>
ISSN2518-1726 (Online),
ISSN 1991-346X (Print)**

Managing Editor: *A.Shormakova*
Editors: *D.S. Alenov, T. Apendiev*
Computer layout: *G.D. Zhadyranova*

Signed for print: June 15, 2026
Format: 70×90 1/16. 26.5 printed sheets. Order No. 2.