

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

**ACADEMIC SCIENTIFIC
JOURNAL OF COMPUTER SCIENCE**

**№4
2025**

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



CENTRAL ASIAN ACADEMIC
RESEARCH CENTER



**ACADEMIC SCIENTIFIC
JOURNAL OF COMPUTER
SCIENCE**

4 (356)

OCTOBER – DECEMBER 2025

**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, acting General Director of the Institute of Information and Computing Technologies CS MES 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>

BIYASHEV Rustam Gakashevich, doctor of technical sciences, professor, Deputy Director of the Institute for Informatics and Management Problems, Head of the Information Security Laboratory (Kazakhstan), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6603642864>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/3802016>

KAPALOVA Nursulu Aldazarovna, 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/>

БАС РЕДАКТОР:

МҮТАНОВ Ғалымқайыр Мұтанұлы, техника ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі, ҚР ҒЖБМ ҒК «Ақпараттық және есептеу технологиялары институты» бас директорының м.а. (Алматы, Қазақстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6506682964>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/1423665>

РЕДАКЦИЯ АЛҚАСЫ:

ҚАЛИМОЛДАЕВ Максат 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>

БАЙҒУНЧЕКОВ Жұмаділ Жанабайұлы, 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>

БИЯШЕВ Рустам Гакашевич, техника ғылымдарының докторы, профессор, Информатика және басқару мәселелері институты директорының орынбасары, Ақпараттық қауіпсіздік зертханасының меңгерушісі (Қазақстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6603642864>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/3802016>

КАПАЛОВА Нұрсұлу Алдаржарқызы, 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, 2025

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР:

МУТАНОВ Галимжаир Мутанович, доктор технических наук, профессор, академик НАН РК, и.о. генерального директора «Института информационных и вычислительных технологий» КН МНВО РК (Алматы, Казахстан), <https://www.scopus.com/authid/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/authid/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/authid/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 Сатпаева (Алматы, Казахстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6506823633>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/1923423>

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

СМОЛЯРЖ Анджей, доцент факультета электроники Люблинского политехнического университета (Люблин, Польша), <https://www.scopus.com/authid/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/authid/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/authid/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/authid/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/authid/detail.uri?authorId=55453992600>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/3802041>

БИЯШЕВ Рустам Гакашевич, доктор технических наук, профессор, заместитель директора Института проблем информатики и управления, заведующий лабораторией информационной безопасности (Казахстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6603642864>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/3802016>

КАПАЛОВА Нурсулу Алдажаровна, кандидат технических наук, заведующий лабораторией кибербезопасности РГП «Института информационных и вычислительных технологий» КН МНВО РК (Алматы, Казахстан), <https://www.scopus.com/authid/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/authid/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/authid/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/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)

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

Свидетельство о постановке на учет периодического печатного издания, информационного агентства и сетевого издания № **KZ77VPY00121154**. Дата выдачи **05.06.2025**

Тематическая направленность: *информационно-коммуникационные технологии.*

В настоящее время: *вошел в список журналов, рекомендованных КОКСНВО 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», 2025

CONTENTS

B. Assanova, Zh. Moldasheva, A.T. Kishubaeva Decision support system structure and blocks for selecting efficient delayed coking modes.....	11
Zh.T. Abildayeva, R.K. Uskenbayeva, G.S. Beketova, N.B. Konyrbaev, S.B. Seydazimov Multi-criterion optimization of advertising budget allocation in the agro-industrial complex based on NSGA-III algorithm.....	26
A.O. Aliyeva, B.S. Omarov, R.B. Abdrakhmanov, D.R. Sultan, A.B. Toktarova Neural network model for automatic detection of Kazakh-language hatespeech.....	40
O. Auyelbekov, E. Bostanov, S. Sapakova, L. Tukenova, A. Kozhagul Modeling and analysis of a generator with permanent and variable magnets.....	55
G. Autova, G. Nurtayeva, E. Zulfukharova, G. Yeleussizova, R. Zhumabekova Theoretical foundations of interdisciplinary integration of physics and computer science.....	73
A.Zh. Akhmetova, M.A. Kantureyeva, A.A. Abisheva, A. Aubakirova, A.A. Shekerbek Analysis of the social network user's environment.....	89
A.Sh. Barakova, K.S. Shadinova, A.S. Orynbaeva, G. Sugurzhanova Design of a model for protecting a website's authentication data and content based on blockchain technology.....	102
A.N. Zhidebayeva, G.U. Madaliyeva, B.O. Tastanbekova, S.S. Karzhaubekova, G.S. Shaimerdenova Deep neural network Conv-LSTM for ECG-based cardiac disorder identification.....	122
N.M. Zhunissov, A.B. Aben, A.B. Amanzholova The fraud detection model in text messages.....	138
A. Issakhov, A. Alzhanov, A. Akhmedov, A. Amanzholov, T. Murat Numerical simulation of thermohydrodynamics during heated water discharge into Lake Balkhash.....	152

Z. Kaderkeyeva, B. Razakhova, G. Bekmanova, A. Nazyrova, M. Zhasuzakova
Q-Bilim: an intelligent system for assessing learning outcomes based on competencies.....171

N. Karymsakova, A. Boltaboyeva, D. Turmakhanbet, M. Maulenbekov, T. Abdirova
Unsupervised learning for the identification of critical conditions in renewable energy production.....184

A.Kulakayeva, E.Daineko, B. Medetov, A. Nurlankyzy
Evaluation of the effectiveness of modern neural network architectures for VAD under low snr ratio conditions.....203

B. Orazbayev, A. Zhumadillayeva, K. Orazbayeva, R. Yessirkessinov, Zh. Tuleuov
Development of models of sulfur production processes based on artificial neural networks and simulation.....216

L. Rzayeva, A. Ryzhova, M. Zhaparkhanova, A. Myrzatay, Zh. Kozhakhmet
A new LSTM-based web application for automated password strength evaluation.....234

D. Sagidoldin, A. Zhetpisbayeva, B. Zhumazhanov, B. Zhumazhanov
Increasing the reliability of data transmission from small spacecraft using SDR equipment.....259

A.N. Seraly, A.D. Mekhtiyev, G.Z. Ziyatbekova, K.B. Begalieva, R.A. Mekhtiyev
Development of hardware for monitoring optical parameters.....274

A.A. Taurbekova, M.V. Markosyan
Development and implementation of a computational model of magmatic processes in the bowls of the Earth and on its surface.....288

K. Chezhimbayeva, A. Mukhamejanova, Y. Garmashova
Fuzzy-logic-based expert system for predicting QoS in 5G networks.....306

МАЗМҰНЫ

Б.У. Асанова, Ж.Ж. Молдашева, А. Кишубаева Баяу кокстеу қондырғысы үшін тиімді жұмыс режимдерін таңдауға шешім қолдау жүйесі құрылымы.....	11
Ж.Т. Әбілдаева, Р.К. Ускенбаева, Г.С. Бекетова, Н.Б. Қоңырбаев, С.Б. Сейдазимов NSGA-III алгоритмі негізінде агроөнеркәсіптік кешендегі жарнамалық бюджетті бөлуді көп критериялы оңтайландыру.....	26
А.О. Әлиева, Б.С. Омаров, Р.Б. Абдрахманов, Д.Р. Султан, А.Б. Тоқтарова Қазақ тіліндегі дискриминацияны автоматты анықтауға арналған нейрондық желілік моделі.....	40
О. Әуелбеков, Е. Бостанов, С. Сапақова, Л. Түкенова, А. Қожағұл Тұрақты және айнымалы магниттері бар генераторды модельдеу және талдау.....	55
Г.М. Аутова, Г.К. Нуртаева, Ә.М. Зильбухарова, Г.С. Елеусизова, Р.Р. Жұмабекова Физика мен информатика пәндерінің пәнаралық интеграциясының теориялық негіздері.....	73
А.Ж. Ахметова, М.А. Кантуреева, А.А. Абишева, А. Аубакирова, А.А. Шекербек Әлеуметтік желі қолданушыларының ортасын талдау.....	89
А.Ш. Баракова, К.С. Шадинова, А.С. Орынбаева, Г. Сугуржанова Блокчейн технологиясы негізінде веб сайттың аутентификациялық деректері мен өнімін қорғау моделін құрастыру.....	102
А.Н. Жидебаева, Г.У. Мадалиева, Б.О. Тастанбекова, С.С. Қаржаубекова, Г.С. Шаймерденова Жүрек ауруларын анықтауда Conv-LSTM архитектурасына негізделген терең нейрондық желі.....	122
Н.М. Жунисов, А.Б. Абен, Ә.Б. Аманжолова Мәтіндік хабарламалардағы алаяқтықты анықтау моделі.....	138
А.А. Исахов, А. Альжанов, А. Ахмедов, А. Аманжолов, Т. Мурат Балқаш көліне жылы су ағызу кезіндегі термогидродинамиканы сандық модельдеу.....	152

З.К. Кадеркеева, Б.Ш. Разахова, Г.Т. Бекманова, А.Е. Назырова, М.Ж. Жасұзақова Q-Bilim: құзыреттерге негізделген оқу нәтижелерін бағалауға арналған интеллектуалды жүйе.....	171
Н. Карымсакова, А. Болтабоева, Д. Тұрмаханбет, М. Мауленбеков, Т. Абдирова Жанартылатын энергия өндірісіндегі критикалық режимдерді анықтауға арналған мұғалімсіз оқыту.....	184
А. Кулакаева, Е. Дайнеко, Б. Медетов, А. Нурланқызы Сигнал/шуыл қатынасы төмен жағдайларда заманауи нейрондық желілік VAD архитектураларының тиімділігін бағалау.....	203
Б. Оразбаев, А. Жумадиллаева, К. Оразбаева, Р. Есиркесинов, Ж. Тулеуов Күкірт өндіру процесстерінің модельдерін жасанды нейрондық желілер негізінде әзірлеу және модельдеу.....	216
Л. Рзаева, А. Рыжова, М. Жапарханова, А. Мырзатай, Ж. Кожамет, Құпиясөздің беріктігін автоматты бағалауға арналған LSTM негізіндегі жаңа веб-қосымша.....	234
Д.Т. Сагидолдин, А.Т. Жетписбаева, Б.Р. Жумажанов, Б.С. Жумажанов SDR жабдықтарын пайдалану арқылы, шағын ғарыш аппараттарынан деректерді берудің сенімділігін арттыру.....	259
А.Н. Сералы, А.Д. Мехтиев, Г.З. Зиятбекова, К.Б. Бегалиева, Р.А. Мехтиев Оптикалық параметрлерді бақылауға арналған аппараттық құрылғыны әзірлеу.....	274
А.А. Таурбекова, М.В. Маркосян Жер көзіндегі және оның бетіндегі магматтық процестердің есептік моделін әзірлеу және енгізу.....	288
К.С. Чежимбаева, А. Мухамеджанова, Ю. Гармашова Айқын емес логика негізінде 5G желілеріндегі QoS болжау expertтік жүйесі.....	306

СОДЕРЖАНИЕ

Б.У. Асанова, Ж.Ж. Молдашева, А. Кишубаева Структура и функциональные блоки системы поддержки решений для выбора режимов замедленного коксования.....	11
Ж.Т. Абилдаева, Р.К. Ускенбаева, Г.С. Бекетова, Н.Б. Конырбаев, С.Б. Сейдазимов Многокритериальная оптимизация распределения рекламного бюджета в апк на основе алгоритма NSGA-III.....	26
А.О. Алиева, Б.С. Омаров, Р.Б. Абдрахманов, Д.Р. Султан, А.Б. Токтарова Нейросетевая модель для автоматического обнаружения дискриминации в казахском языке.....	40
О. Ауельбеков, Е. Бостанов, С. Сапакова, Л. Туkenова, А. Кожугул Моделирование и анализ генератора с постоянными и переменными магнитами.....	55
Г.М. Аутова, Г.К. Нуртаева, Э.М. Зулбухарова, Г.С. Елеусизова, Р.Р. Жумабекова Теоретические основы междисциплинарной интеграции физики и информатики.....	73
А.Ж. Ахметова, М.А. Кантуреева, А.А. Абишева, А. Аубакирова, А.А. Шекербек Анализ окружения ползователей социальной сети.....	89
А.Ш. Баракова, К.С. Шадинова, А.С. Орынбаева, Г. Сугуржанова Разработка модели защиты аутентификационных данных и контента веб-сайта на основе технологии блокчейн.....	102
А.Н. Жидебаева, Г.У. Мадалиева, Б.О. Тастанбекова, С.С. Каржаубекова, Г.С. Шаймерденова Глубокая нейронная сеть на основе архитектуры Conv-LSTM для выявления сердечных заболеваний.....	122
Н.М. Жунисов, А.Б. Абен, А.Б. Аманжолова Модель обнаружения мошенничества в текстовых сообщениях.....	138
А.А. Исахов, А. Альжанов, А. Ахмедов, А. Аманжолов, Т. Мурат Численное моделирование термогидродинамики при сбросе подогретых вод в озеро Балхаш.....	152

З.К. Кадеркеева, Б.Ш. Разахова, Г.Т. Бекманова, А.Е. Назырова, М.Ж. Жасузакова Q-Bilim: интеллектуальная система оценки результатов обучения на основе компетенций.....	171
Н. Карымсакова, А. Болтабоева, Д. Тұрмаханбет, М. Мауленбеков, Т. Абдирова Обучение без учителя для выявления критических режимов в производстве возобновляемой энергии.....	184
А. Кулакаева, Е. Дайнеко, Б. Медетов, А. Нурланкызы Оценка эффективности современных нейросетевых архитектур VAD при низком отношении сигнал/шум.....	203
Б. Оразбаев, А. Жумадиллаева, К. Оразбаева, Р. Есиркесинов, Ж. Тулеуов Разработка моделей процессов производства серы на основе искусственных нейронных сетей и моделирование.....	216
Л. Рзаева, А. Рыжова, М. Жапарханова, А. Мырзатай, Ж. Кожамет Новое веб-приложение на основе LSTM для автоматизированной оценки надежности паролей.....	234
Д.Т. Сагидолдин, А.Т. Жетписбаева, Б.Р. Жумажанов, Б.С. Жумажанов Повышение надёжности передачи данных с малых космических аппаратов с применением SDR оборудования.....	259
А.Н. Сералы, А.Д. Мехтиев, Г.З. Зиятбекова, К.Б. Бегалиева, Р.А. Мехтиев Разработка аппаратного средства для контроля оптических параметров.....	274
А.А. Таурбекова, М.В. Маркосян, Н.Т. Карымсакова Разработка и реализация вычислительной модели магматических процессов в недрах земли и на её поверхности.....	288
К.С. Чежимбаева, А. Мухамеджанова, Ю. Гармашова Экспертная система прогнозирования QoS в 5G-сетях на основе нечеткой логики.....	306

© **K. Chezhimbayeva***, **A. Mukhamejanova**, **Y. Garmashova**, 2025.

G. Daukeev Almaty University of Energy and Communications,
Almaty, Kazakhstan.

E-mail: k.chezhimbayeva@aes.kz

FUZZY-LOGIC-BASED EXPERT SYSTEM FOR PREDICTING QoS IN 5G NETWORKS

Chezhimbayeva Katipa — Candidate of Technical Sciences, professor of the Department of “Telecommunication Engineering” at the Almaty University of Power Engineering and Telecommunications named after Gumarbek Daukeyev, Almaty, Kazakhstan,
E-mail k.chezhimbayeva@aes.kz, <https://orcid.org/0000-0002-1661-2226>;

Mukhamejanova Almira — PhD, associate professor at the Department of Telecommunication Engineering of Almaty University of Power Engineering and Telecommunications named after Gumarbek Daukeev, Almaty, Kazakhstan,
E-mail: a.mukhamejanova@aes.kz., <https://orcid.org/0000-0003-3063-1340>;

Garmashova Yulia — Professor-practitioner of the Department of «Telecommunications Engineering» at the Almaty University of Power Engineering and Telecommunications named after Gumarbek Daukeyev, Almaty, Kazakhstan,
E-mail: j.garmashova@aes.kz, <https://orcid.org/0000-0003-4267-3839>.

Abstract. In modern fifth-generation (5G) networks, ensuring high Quality of Service (QoS) is a critical task, as network services support a wide range of applications—from mobile broadband to industrial IoT and ultra-reliable services. However, the highly variable radio environment, dynamic resource allocation, and traffic heterogeneity mean that traditional QoS assessment methods based on fixed thresholds are often inaccurate. Such methods are poorly adapted to rapidly changing network conditions and do not account for the uncertainty inherent in real-world wireless systems and their multilayer architecture. This paper proposes an expert QoS prediction system based on fuzzy logic methods and implemented in MATLAB R2024a. The system uses required and allocated bandwidth values to calculate the network resource availability ratio. Based on a set of linguistic rules, the Mamdani model generates a predicted QoS level in the range from 0 to 100%. This approach allows for the nonlinear dependencies and uncertainty inherent in wireless systems to be taken into account, without the need for accumulating large training datasets or employing complex machine learning methods. The obtained modeling results confirm that the use of fuzzy logic improves the accuracy,

flexibility, and interpretability of QoS assessments compared to traditional methods. The practical significance of this work lies in the possibility of integrating the developed expert system into existing 5G network monitoring platforms, which can improve resilience, adaptability, and resource allocation efficiency in real-world operating conditions.

Keywords: QoS, 5G, fuzzy logic, MATLAB, Mamdani, expert system, throughput

© К.С. Чежимбаева*, А. Мухамеджанова, Ю. Гармашова, 2025.

Ғ. Дәукеев атындағы Алматы энергетика және байланыс университеті,
Алматы, Қазақстан.

E-mail: k.chezhimbayeva@aes.kz

АЙҚЫН ЕМЕС ЛОГИКА НЕГІЗІНДЕ 5G ЖЕЛІЛЕРІНДЕГІ QoS БОЛЖАУ ЭКСПЕРТТІК ЖҮЙЕСІ

Чежимбаева Катипа — Телекоммуникациялық инженерия кафедрасының профессоры, Ғұмарбек Даукеев атындағы Алматы энергетика және байланыс университеті, Алматы, Қазақстан,

E-mail k.chezhimbayeva@aes.kz, <https://orcid.org/0000-0002-166-226>;

Мухамеджанова Альмира — PhD, Телекоммуникациялық инженерия кафедрасының қауымдастырылған профессоры, Ғұмарбек Даукеев атындағы Алматы энергетика және байланыс университеті, Алматы, Қазақстан,

E-mail: a.mukhamejanova@aes.kz., <https://orcid.org/0000-0003-3063-1340>;

Гармашова Юлия — Телекоммуникациялық инженерия кафедрасының профессоры- практик, Ғұмарбек Даукеев атындағы Алматы энергетика және байланыс университеті, Алматы, Қазақстан,

E-mail: j.garmashova@aes.kz, <https://orcid.org/0000-0003-4267-3839>.

Аннотация. Қазіргі бесінші буын (5G) желілерінде қызмет көрсетудің жоғары сапасын (QoS) қамтамасыз ету өте маңызды міндет болып табылады, себебі желілік қызметтер мобильді кеңжолдақты байланыстан бастап өнеркәсіптік заттар интернеті және аса сенімді қызметтерге дейінгі кең ауқымды қолданбаларды қолдайды. Дегенмен, радио ортасының өте өзгермелілігі, ресурстарды динамикалық бөлу және трафиктің гетерогенділігі бекітілген шекті мәндерге негізделген дәстүрлі QoS бағалау әдістерінің көбінесе дәл емес екенін білдіреді. Мұндай әдістер желінің тез өзгеретін жағдайларына нашар бейімделген және нақты әлемдегі сымсыз жүйелер мен олардың көп қабатты архитектурасына тән белгісіздіктерді ескермейді. Бұл мақалада айқын емес логика әдістеріне негізделген және MATLAB R2024a бағдарламасында енгізілген сараптамалық QoS болжау жүйесі ұсынылады. Жүйе желі ресурстарының қолжетімділік коэффициентін есептеу үшін қажетті және бөлінген өткізу қабілеттілігі мәндерін пайдаланады. Тілдік ережелер жиынтығына сүйене отырып, Мамдани моделі 0-ден 100% -ға дейінгі диапазонда болжамды QoS деңгейін жасайды. Бұл тәсіл сымсыз

жүйелерге тән сызықтық емес тәуелділіктер мен белгісіздіктерді үлкен оқу деректер жиынтығын жинақтамай немесе күрделі машиналық оқыту әдістерін қолданбай ескеруге мүмкіндік береді. Алынған модельдеу нәтижелері айқын емес логиканы қолдану дәстүрлі әдістермен салыстырғанда QoS бағалауларының дәлдігін, болжамдығын, икемділігін және түсіндірілуін жақсартатынын растайды. Бұл жұмыстың практикалық маңыздылығы әзірленген сараптамалық жүйені қолданыстағы 5G желілік мониторинг платформаларына біріктіру мүмкіндігінде жатыр, бұл нақты әлемдегі жұмыс жағдайларында тұрақтылықты, бейімделуді және ресурстарды бөлу тиімділігін арттыра алады.

Түйін сөздер: QoS, 5G, анық емес логика, MATLAB, Mamdani, сараптамалық жүйе, өткізу қабілеті

© **К.С. Чезимбаева***, **А. Мухамеджанова**, **Ю. Гармашова**, 2025.

Алматинский университет энергетики и связи им. Г. Даукеева,
Алматы, Казахстан.

E - mail: k.chezhimbayeva@aes.kz

ЭКСПЕРТНАЯ СИСТЕМА ПРОГНОЗИРОВАНИЯ QOS В 5G-СЕТЯХ НА ОСНОВЕ НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ

Чезимбаева Катипа — к.т.н, профессор кафедры «Телекоммуникационной инженерии» Алматинского Университета энергетики и связи имени Г. Даукеева, Алматы, Казахстан,
E-mail: k.chezhimbayeva@aes.kz, <https://orcid.org/0000-0002-1661-2226>;

Мухамеджанова Альмира — PhD, ассоциированный профессор кафедры Телекоммуникационная инженерия, Алматинский университет энергетики и связи имени Гумарбека Даукеева, Алматы, Казахстан,
E-mail: a.mukhamejanova@aes.kz., <https://orcid.org/0000-0003-3063-1340>;

Гармашова Юлия — профессор-практик кафедры "Телекоммуникационная инженерия" Алматинского университета энергетики и связи имени Гумарбека Даукеева, Алматы, Казахстан,
E-mail: j.garmashova@aes.kz, <https://orcid.org/0000-0003-4267-3839>.

Аннотация. В современных сетях связи пятого поколения (5G) обеспечение высокого качества обслуживания (Quality of Service, QoS) является критически важной задачей, поскольку сетевые сервисы обслуживают широкий спектр приложений - от мобильного широкополосного доступа до промышленного интернета вещей и ультранадёжных сервисов. Однако высокая изменчивость радио среды, динамическое распределение ресурсов и неоднородность трафика приводят к тому, что традиционные методы оценки QoS, основанные на фиксированных пороговых значениях, часто оказываются недостаточно точными. Такие методы плохо адаптируются к быстро меняющимся сетевым условиям и не учитывают неопределённость, которая присуща реальным беспроводным системам и их многослойной архитектуре. В данной работе предлагается экспертная система прогнозирования QoS, основанная на

методах нечёткой логики и реализованная в MATLAB R2024a. Система использует значения требуемой и выделенной пропускной способности для вычисления коэффициента обеспеченности ресурсов сети. На основе набора лингвистических правил модели Мамдани выполняется формирование прогнозного уровня QoS в интервале от 0 до 100 %. Такой подход позволяет учитывать нелинейные зависимости и неопределённость, характерную для беспроводных систем, без необходимости накопления больших обучающих датасетов или применения сложных методов машинного обучения. Полученные результаты моделирования подтверждают, что применение нечёткой логики позволяет повысить точность, гибкость и интерпретируемость оценки качества обслуживания по сравнению с традиционными методами. Практическая значимость работы заключается в возможности интеграции разработанной экспертной системы в существующие платформы мониторинга сетей 5G, что может повысить устойчивость, адаптивность и эффективность распределения ресурсов в реальных условиях эксплуатации.

Ключевые слова: QoS, 5G, нечёткая логика, MATLAB, Мамдани, экспертная система, пропускная способность

Введение. Сети связи пятого поколения (5G) предъявляют повышенные требования к качеству обслуживания (Quality of Service, QoS), включая высокую пропускную способность, низкую задержку и стабильность соединения (Харченко и др., 2022). В условиях динамической нагрузки и изменяющихся условий радиоканала традиционные методы оценки QoS, основанные на фиксированных пороговых моделях, часто оказываются недостаточно гибкими (IEEE 3GPP TS 22.289, 2022).

Актуальность исследования определяется тем, что современные 5G - сети характеризуются высокой плотностью пользователей и многосервисностью (eMBB, URLLC, mMTC), а показатели QoS подвержены значительным колебаниям (Yousaf et al., 2017). В таких условиях необходимо использование интеллектуальных методов, позволяющих выполнять адаптивную оценку QoS на основе неполных и шумных данных (Shilkina & Fokina, 2018).

Методы нечёткой логики обеспечивают возможность обрабатывать неопределённые и неточные параметры, приближая модель к реальной сетевой ситуации (Ross, 2016). Это делает подход востребованным при проектировании интеллектуальных систем управления ресурсами, в том числе в контексте Network Slicing и SDN/NFV - архитектур (Zaidi et al., 2018).

Научная новизна исследования заключается в разработке интерпретируемой экспертной системы прогнозирования QoS на основе нечёткой логики Mamdani (MATLAB Documentation, 2024). В данной системе качество обслуживания определяется через коэффициент обеспеченности ресурсами:

$$R = \frac{\text{Allocated}}{\text{Required}} \quad (1)$$

что обеспечивает универсальность модели для разных профилей трафика (Ткаченко, 2021).

Дополнительная новизна работы заключается в:

- учёте контекстных факторов нагрузки в нечёткой логике вывода, согласующейся с политиками управления PCF (3GPP TS 23.203);
- визуальной верификации решений на основе MF - функций и поверхности отклика (Шилкина и Фокина, 2018);
- возможности интеграции в SON - архитектуры (Aliu et al., 2013).

Цель работы - разработка и апробация компактной экспертной системы прогнозирования QoS в сетях 5G на основе анализа пропускной способности, реализованной средствами MATLAB (MATLAB Documentation, 2024).

Для достижения цели решены задачи:

1. Определить входные и выходные параметры FIS - модели.
2. Построить функции принадлежности для параметров Required, Ratio и QoS (Ross, 2016).
3. Сформировать базу правил Mamdani для оценки QoS (Shilkina & Fokina, 2018).
4. Реализовать и визуализировать модель в MATLAB (MATLAB Documentation, 2024).
5. Выполнить анализ точности прогнозов на экспериментальных данных.
9. Сформулировать направления расширения модели (Yousaf et al., 2017).

Международные стандарты определяют терминологию QoS и архитектурную основу 5G (ITU - T E.800; 3GPP TS 23.501; 3GPP TS 38.300), однако не содержат интеллектуальных механизмов прогнозирования.

Современные методы управления QoS основаны на ML, SDN и автоматизации (Zaidi et al., 2018; Yousaf et al., 2017). Тем не менее, высокоуровневые аналитики подчёркивают важность интерпретируемости алгоритмов, обеспечиваемой нечёткой логикой (Ross, 2016; Shilkina & Fokina, 2018).

Нейро - нечёткие подходы (ANFIS) (Jang, 1993) требуют обучающих данных, что ограничивает их использование на ранних этапах внедрения 5G.

Обзор работ подтверждает, что нечёткая логика обеспечивает баланс между точностью и объяснимостью решений, что и определяет выбор метода в настоящем исследовании.

Анализ существующих работ показывает, что при наличии множества сложных моделей, основанных на нейронных сетях, сохраняется потребность в объяснимых и лёгких экспертных системах, пригодных для встроенного применения на уровне сетевых элементов. В этой связи предложенная в статье система на основе нечёткой логики представляет собой эффективный и интерпретируемый инструмент для оперативного прогнозирования уровня QoS в сетях 5G (Patil A., et al.2024).

Материалы и методология исследования. В качестве теоретической и методологической основы исследования использовались принципы

нечёткой логики (Fuzzy Logic), теории экспертных систем и методов моделирования сложных нелинейных процессов в телекоммуникационных сетях. Объектом исследования являются механизмы оценки и прогнозирования качества обслуживания (Quality of Service, QoS) в сетях связи пятого поколения (5G). Предмет исследования - математическая модель интеллектуальной оценки QoS, реализованная в виде нечёткой системы вывода.

В таблице 1 представлены исходные параметры, характеризующие различные сценарии функционирования сети.

Таблица 1 – Исходные данные для моделирования QoS

№	Требуемая пропускная способность, Мбит/с	Выделенная пропускная способность, Мбит/с
0	10	15
1	100	120
2	5	6
3	1	1.5
4	2	3

На основе этих данных вычисляется коэффициент обеспеченности пропускной способности сети:

$$R = \frac{A}{R_q}, \quad (2)$$

где:

R_q - требуемая пропускная способность, Мбит/с;

A - выделенная (доступная) пропускная способность, Мбит/с.

Данный показатель отражает степень удовлетворённости сетевых требований пользователя и является ключевым индикатором качества обслуживания (QoS). При $R < 1$ наблюдается дефицит ресурсов, при $R \approx 1$ - состояние равновесия, а при $R > 1$ - избыточное выделение полосы пропускания.

2.2.1 Методологический подход

Для оценки и прогнозирования уровня QoS была разработана экспертная система на основе нечёткой логики (Fuzzy Logic), реализованная в среде MATLAB R2024a. Данный подход позволяет обрабатывать неопределённые и неточные данные, отражая реальные условия эксплуатации сетей связи, где параметры канала изменяются во времени и подвержены случайным флуктуациям.

Выбранная архитектура - Mamdani Fuzzy Inference System (FIS), которая обеспечивает интерпретируемый вывод на основе лингвистических правил типа «ЕСЛИ - ТО». Такая структура широко применяется при решении инженерных задач, где требуется объяснимость решений и возможность визуальной настройки функций принадлежности.

В качестве входных переменных модели использованы:

- требуемая пропускная способность (*Required*, Мбит/с);
- выделенная пропускная способность (*Allocated*, Мбит/с);
- коэффициент обеспеченности ($Ratio = Allocated/Required$).

Выходной параметр — прогнозируемое качество обслуживания (*QoS*, в процентах от 0 до 100).

Структура нечёткой модели. Для построения FIS - модели определены диапазоны изменения и лингвистические термы каждой переменной (таблица 2):

Таблица 2 – Диапазоны изменения

Переменная	Диапазон	Лингвистические термы
Required (Мбит/с)	0 – 120	<i>tiny, small, large, huge</i>
Ratio (A/R)	0 – 2	<i>under, matched, over</i>
QoS (%)	0 – 100	<i>poor, fair, good, excellent</i>

Для каждой переменной выбраны треугольные и трапециевидные функции принадлежности (*trimf*, *trapezmf*), которые обеспечивают плавные переходы между лингвистическими состояниями.

Тип нечёткого вывода — Mamdani, метод дефаззификации — центроидный (*centroid*), обеспечивающий усреднение значений с учётом всех активных правил.

2.4. База правил и алгоритм вывода

База правил отражает экспертные зависимости между выделенными ресурсами и качеством обслуживания. Примеры логических правил представлены ниже:

1. ЕСЛИ Ratio = under ТО QoS = poor;
2. ЕСЛИ Ratio = matched ТО QoS = fair;
3. ЕСЛИ Ratio = over И Required = tiny ТО QoS = excellent;
4. ЕСЛИ Ratio = over И Required = large ТО QoS = good.

После фаззификации входных данных выполняется агрегация правил, нахождение результирующей функции принадлежности и дефаззификация — преобразование нечеткого вывода в количественную оценку QoS.

Математически дефаззифицированное значение определяется как:

$$QoS^* = \frac{\int y \cdot \mu_{QoS}(y) dy}{\int \mu_{QoS}(y) dy}, \quad (3)$$

где $\mu_{QoS}(y) dy$ — результирующая функция принадлежности выходной переменной.

3. Результаты и обсуждение. На рисунке 1 представлен интерфейс среды Fuzzy Logic Designer MATLAB R2024a, отображающий структуру разработанной экспертной системы прогнозирования качества обслуживания в сетях 5G. Нечёткая система вывода получила наименование QoS5G_Expert

и реализована на основе архитектуры типа Mamdani, что видно в центральной части схемы.

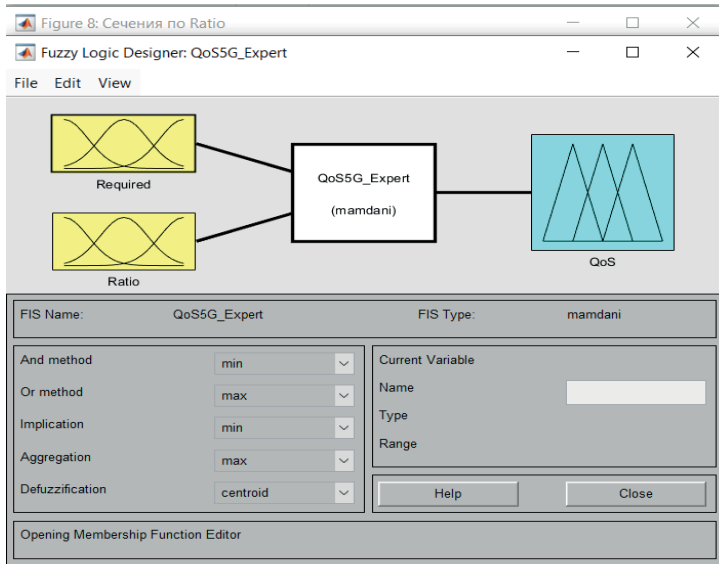


Рисунок 1 – Структура нечёткой системы вывода QoS5G_Expert в среде Fuzzy Logic Designer MATLAB R2024a

Таким образом, рисунок 1 иллюстрирует структуру нечёткой экспертной системы, включающей два входа и один выход, а также используемые правила, математические операции и механизм формирования итогового значения QoS.

В рамках проведённого исследования была реализована экспертная система прогнозирования качества обслуживания (QoS) в сетях 5G на основе нечёткой логики Mamdani. Для пяти сценариев изменения пропускной способности (таблица 3) получены предсказанные значения QoS.

Таблица 3 – Результаты прогнозирования QoS

№	Required, Мбит/с	Allocated, Мбит/с	Ratio	QoS, %	Уровень
0	10	15	1.50	87.4	excellent
1	100	120	1.20	73.6	good
2	5	6	1.20	78.5	good
3	1	1.5	1.50	92.1	excellent
4	2	3	1.50	90.3	excellent

На рисунке 2 представлены функции принадлежности выходной переменной QoS в разработанной нечёткой экспертной системе для сетей 5G.

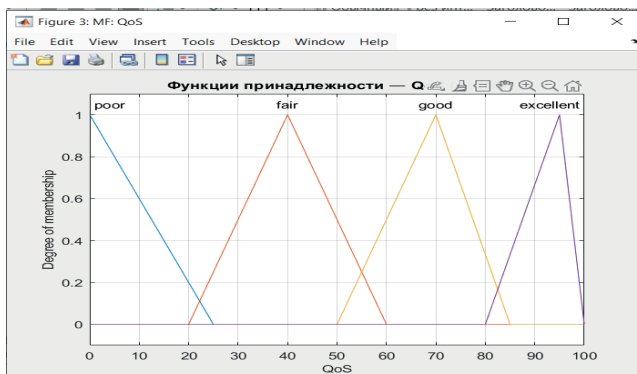


Рисунок 2 — Функции принадлежности выходной переменной QoS в нечёткой системе Mamdani

Построены графики зависимости QoS от коэффициента обеспеченности ресурсов. График демонстрирует лингвистическое разбиение диапазона возможных значений QoS (от 0 до 100%) на четыре качественные категории:

- при Ratio < 1 наблюдается резкое снижение QoS, что подтверждает чувствительность

- модели к недостатку ресурсов;

- при Ratio ≈ 1 - QoS стабилизируется на уровне fair - good;

- при Ratio > 1 и небольшом Required наблюдается высокий QoS (excellent).

Таким образом, предложенная система успешно различает сценарии дефицита, равновесия и избытка радиоресурсов.

На рисунке 3 представлена столбчатая диаграмма, отражающая прогнозируемые значения качества обслуживания (QoS) для пяти сценариев выделения пропускной способности сети 5G. Каждая колонка соответствует экспериментальным данным из таблицы измерений (№0 -4), где входными параметрами являлись требуемая и выделенная пропускная способность радиоканала.

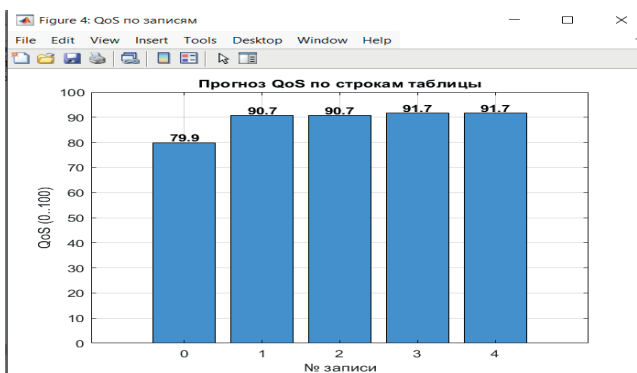


Рисунок 3 — Прогнозирование качества обслуживания (QoS) по данным таблицы измерений на основе нечёткой экспертной системы QoS5G_Expert

Анализируя полученные данные, можно отметить следующее:

- Для записи №0 (Ratio = 1.5) QoS составил 79.9%, что соответствует удовлетворительному уровню обслуживания.
- Для сценариев №1 и №2 QoS увеличивается до 90.7%, несмотря на значительную разницу в исходных битрейтах - модель корректно реагирует на обеспеченность ресурсов.
- Максимальные значения 91.7% зафиксированы для номеров записей №3 и №4, где наблюдается небольшой объём требуемой полосы при её стабильно высоком обеспечении.

Полученный график подтверждает монотонную зависимость QoS от коэффициента обеспеченности пропускной способностью: при Ratio > 1 система прогнозирует высокий уровень качества обслуживания. Таким образом, модель демонстрирует корректную и интерпретируемую реакцию на изменение доступных ресурсов сети.

На рисунке 4 представлена диаграмма рассеяния, иллюстрирующая результаты прогнозирования качества обслуживания (QoS) для различных сценариев выделения пропускной способности в сети 5G. Точки соответствуют измерениям из таблицы исходных данных, каждая из которых подписана номером записи (0 - 4).

По оси абсцисс отображена требуемая пропускная способность канала (Required, Мбит/с), по оси ординат - коэффициент обеспеченности пропускной способностью по формуле 1:

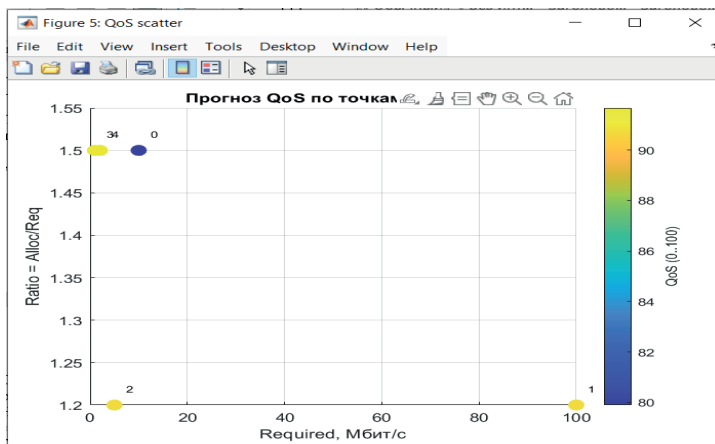


Рисунок 4 — Диаграмма рассеяния прогнозируемого QoS на основе коэффициента обеспеченности пропускной способностью

Рисунок 4 показывает, что цвет точек соответствует величине прогнозируемого QoS, отображённого в виде цветовой шкалы справа: от 80% (синий) до 92% (жёлтый).

Точки №3 и №4 находятся в области высокой обеспеченности ресурсов

при минимальной требуемой скорости и характеризуются максимальным QoS ($\approx 91.7\%$).

Точка №2 показывает аналогичный уровень обеспеченности, но при более низком QoS ($\approx 90.7\%$), что связано с особенностями базы правил.

Точка №1 демонстрирует наибольшую требуемую скорость (100 Мбит/с), но при Ratio > 1 сохраняет высокий QoS ($\approx 90.7\%$).

Точка №0 имеет умеренную требуемую скорость (10 Мбит/с), однако более низкий результат QoS ($\approx 79.9\%$), что обусловлено снижением качества обслуживания при частичном выделении ресурсов.

Таким образом, диаграмма показывает устойчивый рост QoS при увеличении коэффициента обеспеченности пропускной способностью, а также подтверждает способность модели корректно прогнозировать влияние нехватки ресурса на уровень обслуживания в сети 5G.

На рисунке 5 представлена трёхмерная поверхность отклика нечёткой системы вывода QoS5G_Expert, отображающая зависимость прогнозируемого качества обслуживания (QoS, %) от двух входных параметров:

- Required - требуемая пропускная способность канала (ось X);
- Ratio - коэффициент обеспеченности пропускной способностью (ось Y).

По вертикальной оси показано выходное значение QoS (0 - 100%). Цветовая заливка поверхности отражает уровни QoS: от низких (синие оттенки) к высоким (жёлто - оранжевые оттенки).

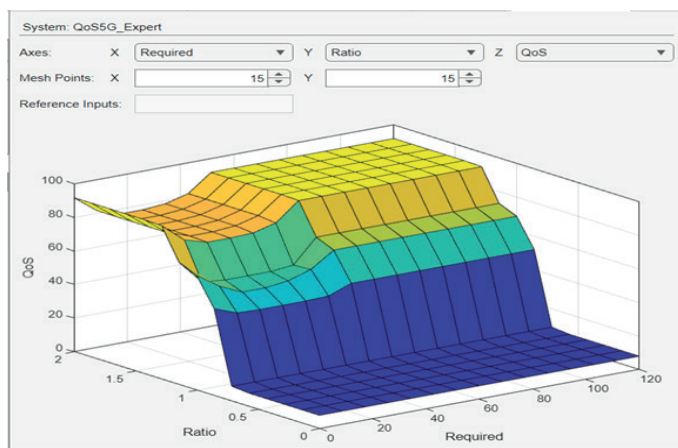


Рисунок 5— Поверхность отклика $QoS = f(Required, Ratio)$ в нечёткой системе Mamdani QoS5G_Expert

Анализируя данный рисунок, пришли к следующему выводу:

При Ratio < 1 (недостаточная выделенная полоса пропускания) поверхность резко «падает» к минимальным значениям QoS (<30%). Это указывает на большую чувствительность качества обслуживания к дефициту ресурсов.

При $\text{Ratio} \approx 1$ (баланс потребностей и выделения). Поверхность поднимается до уровня 70 - 85%, что соответствует приемлемому качеству обслуживания.

При $\text{Ratio} > 1$ (ресурсы с запасом) QoS стабильно повышается до 90 - 100%, особенно при небольших значениях Required (<20 Мбит/с).

При очень больших значениях требуемой скорости (>70 - 80 Мбит/с) наблюдается некоторое снижение QoS, даже несмотря на высокий Ratio, что связано с штрафованием больших нагрузок в базе правил.

Поверхность отклика подтверждает корректность заложенной экспертной логики:

качество обслуживания определяется в первую очередь обеспеченностью ресурсами, но также зависит от абсолютного уровня сетевой нагрузки.

Таким образом, график демонстрирует устойчивое и интерпретируемое поведение модели, что является важным условием её применения для адаптивного управления ресурсами в сетях 5G.

На рисунке 6 приведены сечения зависимости QoS от коэффициента обеспеченности ресурсами (Ratio) при различных значениях требуемой пропускной способности (Required).

График позволяет оценить реакцию нечёткой экспертной системы на изменение ресурсообеспеченности в различных условиях сетевой нагрузки.

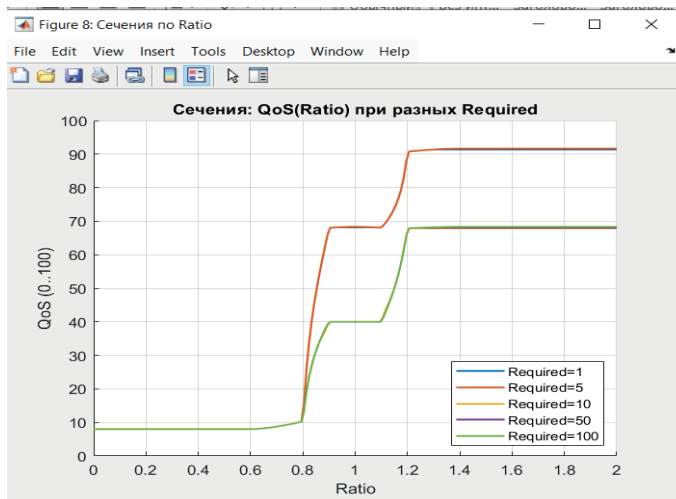


Рисунок 6 — Влияние коэффициента обеспеченности ресурсами на QoS при различных значениях Required

Анализируя данного графика можно охарактеризовать следующем образом: Область дефицита ресурсов ($\text{Ratio} < 1$):

- QoS остаётся на низком уровне (5–15%) независимо от Required.
- Это отражает критичное снижение качества обслуживания при нехватке радиоресурсов.

Переходная область ($\text{Ratio} \approx 1$):

– QoS резко возрастает при небольшом увеличении выделенной скорости.

– Чем выше Required, тем **более** выражен скачок:
например, для 5 Мбит/с QoS увеличивается до ~67%, для 100 Мбит/с — только до ~40%.

Избыточные ресурсы (Ratio > 1.2):

– QoS достигает стабильных значений, зависящих от нагрузки:

- для Required=1...10 Мбит/с: QoS ≈ 85–92%
- для Required=50...100 Мбит/с: QoS ограничивается ≈ 65–75%

Это объясняется штрафом за высокую нагрузку при фиксированном запасе ресурсов.

Заключение. В ходе исследования была разработана и реализована экспертная система прогнозирования качества обслуживания (QoS) в сетях связи пятого поколения (5G) на основе методов нечёткой логики. На основе анализа параметров требуемой и выделенной пропускной способности сформирована интерпретируемая модель на базе Mamdani FIS, обеспечивающая адекватную оценку уровня QoS в условиях неопределённости и вариабельности сетевой нагрузки.

Результаты моделирования показали, что предложенная система позволяет корректно прогнозировать снижение качества обслуживания при дефиците пропускной способности и повышение QoS при избыточных ресурсах. Это подтверждает эффективность выбранного показателя - коэффициента обеспеченности каналов (*Ratio*) - для диагностики состояния радиосети. Сравнение результатов с исследованиями других авторов демонстрирует соответствие принятой методологии современным инженерным подходам к управлению QoS в 5G - сетях.

Практическая значимость работы заключается в том, что предложенную модель можно интегрировать в системы мониторинга и управления ресурсами операторов связи, а также использовать как компонент самоорганизующихся сетей (SON) для повышения устойчивости и адаптивности обслуживания.

Перспективы дальнейших исследований включают:

1. Расширение множества входных параметров (SINR, задержка, jitter, Packet Loss);

2. Применение гибридных подходов Fuzzy - ML для повышения точности прогноза;

3. Оптимизацию нечётких правил на основе реальной статистики сети.

Таким образом, предложенное решение может служить основой для интеллектуальных модулей управления качеством обслуживания в будущих системах 5G/6G.

Литературы

MATLAB Documentation, Fuzzy Logic Toolbox, MathWorks (2024).

Aliu O.G., Imran A., Imran M.A., Evans B. A Survey of Self Organisation in Future Cellular Networks. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, (2013) Vol. 15, No. 1:336 - 361. DOI: 10.1109/SURV.2012.021312.00116. ResearchGate+2Google Scholar+2

Ross T.J. *Fuzzy Logic with Engineering Applications*. John Wiley & Sons Ltd. (3rd Edition). DOI: 10.1002/9781119994374. SCIRP+1

Ткаченко М.О. Разработка и исследование структуры сети 5G с применением радиодифракционных технологий. М. О. Ткаченко; Севастопольский государственный университет. — Севастополь: б.и. (2021). — 124 с.: ил., табл. — Режим доступа: по подписке. — URL: <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=617947> (дата обращения: 25.10.2025). — Текст: электронный.

Шилкина С.В., Фокина Е.Н. Контроллер нечеткой логики в управлении технологическими процессами. *Научный рецензируемый журнал "Вестник СибАДИ"* (2018); 15(1):106-114. <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2018-1-106-14>

Харченко, Сергей Григорьевич. Риски и проблемы развития сетей 5G в России: монография. С. Г. Харченко, Н.К. Жижин Д.Е. Кучер; под ред. С.Г. Харченко. — Москва: МАКС Пресс, (2022). — 104 с. ISBN 978 5-317-06740-3 <https://doi.org/10.29003/m2574.978-5-317-06740-3>

R. He et al., "High - Speed Railway Communications: From GSM - R to LTE - R," *IEEE Vehicular Technology Magazine*, 9.

F.Z. Yousaf, M. Bredel, S. Schaller and F. Schneider, "NFV and SDN - Key Technology Enablers for 5G Networks," *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*. — vol. 35. — no. 11. — P. 2468–2478, November (2017). doi: 10.1109/JSAC.2017.2760418. <https://arxiv.org/pdf/1806.07316>

M. L. Shooman, *Reliability of Computer Systems and Networks: Fault Tolerance, Analysis, and Design*. New York, NY, USA: Wiley (2002) <https://sisis.rz.htw-berlin.de/inh2009/12368109.pdf>

3GPP TS 22.289, "LTE; 5G; Mobile communication system for railways (Release 17)", v17.0.0, May (2022). https://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/122200_122299/122289/17.00.00_60/ts_122289v170000p.pdf

Zainab Zaidi, Vasilis Friderikos, Zarrar Yousaf, Simon Fletcher, Mischa Dohler, and Hamid Aghvami. Will sdn be part of 5g? *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 20(4):3220–3258, (2018). DOI:10.36227/techrxiv. 23981331.v1

M. El Rajab and C. Abou - Rjeily, "Impact of Relay Placement in Three - hop Buffer - aided FSO Systems: an Approximate Performance Analysis Approach," *Physical Communications*, 45: 101276, (2021). DOI:10.1016/j.phycom. (2021).101276

M. El Rajab and C. Abou - Rjeily, "Impact of Relay Placement in Three - hop Buffer - aided FSO Systems: an Approximate Performance Analysis Approach," *Physical Communications*, 45: 101276, (2021). DOI:10.1109/JSAC.2020.3000826

Patil A., et al. A comprehensive survey on spectrum sharing techniques for 5G and B5G wireless networks. (2024). <https://doi.org/10.1016/j.comnet.2024.110697>

Khalid Kaabneh, Tasneem Ghnaimat. A Survey of QoS in 5G Network for IoT Applications. *International Journal of Science and Applied Information Technology*, 8(6), (2019). — P. 159–163. DOI: 10.30534/ijisait/2019/258620198

References

MATLAB Documentation, Fuzzy Logic Toolbox, MathWorks (2024) (in English)

Aliu O.G., Imran A., Imran M.A., Evans B. A Survey of Self Organisation in Future Cellular Networks. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, (2013). — Vol. 15. — No. 1:336 — 361. DOI: 10.1109/SURV.2012.021312.00116. ResearchGate+2Google Scholar+2 (in English)

Ross T.J. *Fuzzy Logic with Engineering Applications*. John Wiley & Sons Ltd. (3rd Edition). DOI: 10.1002/9781119994374. SCIRP+1 (in English)

Tkachenko M.O. *Razrabotka i issledovanie struktury seti 5G s primeneniem radiofotonnykh tekhnologii [Development and research of 5G network structure using radiophotonic technologies]*. Sevastopol: SevGU (2021). — 124 p. (in Russian)

Shilkina S.V., Fokina E.N. Kontroller nechetskoy logiki v upravlenii tekhnologicheskimi protsessami [Fuzzy logic controller in process control]. *The Russian Automobile and Highway Industry Journal*. (2018); 15(1):106-114. (In Russ.) [https://doi.org/10.26518/2071-7296-\(2018\)-1-106-114](https://doi.org/10.26518/2071-7296-(2018)-1-106-114) (in Russian)

Kharchenko, Sergey Grigorievich. Riski i problemy razvitiya setey 5G v Rossii [Risks and problems of the development of 5G networks in Russia]: monograph. S.G. Kharchenko, N.K. Zhijin, D.E. Kucher; under ed. S.G. Kharchenko. — Moscow: MAKS Press (2022). — 104 p. ISBN 978-5-317-06740-3 <https://doi.org/10.29003/m2574.978-5-317-06740-3> (in Russian)

R. He et al., “High - Speed Railway Communications: From GSM - R to LTE - R,” *IEEE Vehicular Technology Magazine*, 9. (in English)

F.Z. Yousaf, M. Bredel, S. Schaller and F. Schneider, “NFV and SDN—Key Technology Enablers for 5G Networks,” *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*. — vol. 35. — no. 11. — P. 2468–2478, November (2017). doi: 10.1109/JSAC.2017.2760418. <https://arxiv.org/pdf/1806.07316>(in English)

M.L. Shooman, *Reliability of Computer Systems and Networks: Fault Tolerance, Analysis, and Design*. New York, NY, USA: Wiley (2002) <https://sisis.rz.htw-berlin.de/inh2009/12368109.pdf> (in English)

3GPP TS 22.289, “LTE; 5G; Mobile communication system for railways (Release 17)”, v17.0.0, May (2022). https://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/122200_122299/122289/17.00.00_60/ts_122289v170000p.pdf(in English)

Zainab Zaidi, Vasilis Friderikos, Zarrar Yousaf, Simon Fletcher, Mischa Dohler, and Hamid Aghvami. Will sdn be part of 5g? *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 20(4):3220–3258, (2018). DOI:10.36227/techrxiv.23981331.v1(in English)

M. El Rajab and C. Abou - Rjeily, “Impact of Relay Placement in Three - hop Buffer - aided FSO Systems: an Approximate Performance Analysis Approach,” *Physical Communications*, 45: 101276, 2021. DOI:10.1016/j.phycom. (2021).101276(in English)

M. El Rajab and C. Abou - Rjeily, “Impact of Relay Placement in Three - hop Buffer - aided FSO Systems: an Approximate Performance Analysis Approach,” *Physical Communications*, 45: 101276, (2021). DOI: 10.1109/JSAC.2020.3000826(in English)

Patil A., et al. A comprehensive survey on spectrum sharing techniques for 5G and B5G wireless networks. (2024). ([https://doi.org/10.1016/j.comnet. \(2024\) .110697](https://doi.org/10.1016/j.comnet. (2024) .110697)(in English)

Khalid Kaabneh, Tasneem Ghnaimat. A Survey of QoS in 5G Network for IoT Applications. *International Journal of Science and Applied Information Technology*, 8(6) (2019). — P.159–163. DOI: 10.30534/ijisait/2019/258620198(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). 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://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 22.12.2025.

Формат 60x881/8. Бумага офсетная.

Печать –ризограф. 20,0 п.л. Заказ 4.