

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

**ACADEMIC SCIENTIFIC
JOURNAL OF COMPUTER SCIENCE**

**№4
2025**

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



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>

WOICK 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 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/>

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>

БАЙГҮНЧЕКОВ Жүмаділ 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 Аладжарқызы, 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 Галимканр 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 Вальдемар, 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 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», 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. Zulbukharova, 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 enviroment.....	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, Э.М. Зильбухарова, Г.С. Елеусизова, Р.Р. Жұмабекова Физика мен информатика пәндерінің пәнаралық интеграциясының теориялық негіздері.....	73
А.Ж. Ахметова, М.А. Кантурсева, 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. Нурланкызы Сигнал/шуыл қатынасы төмен жағдайларда заманауи нейрондық желілік VAD архитектураларының тиімділігін бағалау.....	203
Б. Оразбаев, А. Жумадиллаева, К. Оразбаева, Р. Есиркесин, 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 апп 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. Зульбухарова, 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

<https://doi.org/10.32014/2025.2518-1726.395>

УДК 520.6.05

© D. Sagidoldin¹, A. Zhetsbayeva^{2*}, B. Zhumazhanov¹,
B. Zhumazhanov¹, 2025.

¹LLP “Ghalam”, Astana, Kazakhstan;

²L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan.

E-mail: aigulji@mail.ru

INCREASING THE RELIABILITY OF DATA TRANSMISSION FROM SMALL SPACECRAFT USING SDR EQUIPMENT

Sagidoldin Daulet — Design Engineer, Ghalam» LLP, Astana, Kazakhstan,

E-mail: d.sagidoldin@ghalam.kz, <https://orcid.org/0009-0008-0495-8247>;

Zhetsbayeva Ainur — PhD, associate professor of the department of "Radio engineering, electronics, and telecommunications," L.N. Gumilyov Eurasian national university, Astana, Kazakhstan,

E-mail: aigulji@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4525-5299>;

Zhumazhanov Berik — Head of department of payload and scientific developments, «Ghalam» LLP, Astana, Kazakhstan,

E-mail: b.zhumazhanov@ghalam.kz, <http://orcid.org/0000-0001-5926-9619>;

Zhumazhanov Beksultan — Design-engineer, «Ghalam» LLP, Astana, Kazakhstan,

E-mail: zhumazhanov.b@ghalam.kz, <https://orcid.org/0009-0000-9493-7491>.

Abstract. This paper addresses the problem of increasing the reliability of the radio link between small spacecraft and ground stations under stringent on-board power and resource constraints. The transmitting side is based on a software-defined radio chain using the AD9364 transceiver in combination with the HMC998 power amplifier, which provides the required energy potential of the communication channel. The main focus is on studying error-correcting coding methods and data rate control. Numerical simulations are carried out for an additive white Gaussian noise channel, taking into account distances of up to 2000 km, antenna parameters, receiver G/T, and additional link losses. The analysis covers BPSK, QPSK, 8-PSK and GMSK modulations combined with LDPC, turbo and Reed–Solomon codes; BER dependences on E_b/N_0 , operating frequency, elevation angle and data rate are compared. It is shown that the use of LDPC coding provides an E_b/N_0 gain of several decibels and makes it possible to achieve BER on the order of 10^{-9} in the 2.2–2.4 GHz band at data rates up to 10 Mbit/s, which significantly increases link reliability for small-satellite orbits. In addition, principles of adaptive selection of the “modulation – code – rate” combination are considered, depending on the current energy margin of the channel, which effectively implements data rate control at the SDR level. The obtained results can be used in the design and optimization

of telemetry and service communication channels of nanosatellites, as well as in the development and testing of SDR equipment on ground-based test benches and flight models of small spacecraft.

Keywords. SDR, small spacecraft, Earth stations, radio frequency, reliability enhancement, coding, modulation, satellite communications

© Д.Т. Сагидолдин¹, А.Т. Жетписбаева^{2*}, Б.Р. Жумажанов¹,
Б.С. Жумажанов¹, 2025.

¹ ЖШС «Ghalam», Астана, Қазақстан;

² Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан.

E-mail: aigulji@mail.ru

SDR ЖАБДЫҚТАРЫН ПАЙДАЛАНУ АРҚЫЛЫ, ШАҒЫН ҒАРЫШ АППАРАТТАРЫНАН ДЕРЕКТЕРДІ БЕРУДІҢ СЕНІМДІЛІГІН АРТТЫРУ

Сагидолдин Даулет — инженер-жобалаушы, ЖШС «Ghalam», Астана, Қазақстан,

E-mail: d.sagidoldin@ghalam.kz, <https://orcid.org/0009-0008-0495-8247>;

Жетписбаева Айнур — PhD, қауымдастырылған профессор, «Радиотехника, электроника және телекоммуникациялар» кафедрасы, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан,

E-mail: aigulji@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4525-5299>;

Жумажанов Берик — Пайдалы жүктеме және ғылыми әзірлемелер бөлімінің басшысы, ЖШС «Ghalam», Астана, Қазақстан,

E-mail: b.zhumazhanov@ghalam.kz, <http://orcid.org/0000-0001-5926-9619>;

Жумажанов Бексултан — инженер-жобалаушы, ЖШС «Ghalam», Астана, Қазақстан,

E-mail: zhumazhanov.b@ghalam.kz, <https://orcid.org/0009-0000-9493-7491>.

Аннотация. Бұл мақалада «шағын ғарыш аппараты – жердегі станция» радиобайланыс арнасының сенімділігін борттық қуат пен ресурстарға қатаң шектеулер жағдайында арттыру мәселесі қарастырылады. Таратқыш бөлігі ретінде AD9364 трансиверіне негізделген бағдарламалық-анықталатын радиотракт (SDR) және байланыс арнасының қажетті энергетикалық потенциалын қамтамасыз ететін HMC998 қуат күшейткіші қолданылады. Негізгі назар кедергіге төзімді (кателерді түзететін) кодтау әдістері мен деректерді беру жылдамдығын басқару тәсілдерін зерттеуге аударылған. Аддитивті ақ Гаусстік шуы бар (AWGN) арнада 2000 км-ге дейінгі қашықтық, антенналардың параметрлері, қабылдағыштың G/T көрсеткіші және трактінің қосымша шығындары ескеріле отырып сандық модельдеу жүргізілді. BPSK, QPSK, 8-PSK және GMSK модуляциялары LDPC, Turbo және Reed–Solomon кодтарымен үйлесімде талданады; қателік ықтималдығының (BER) E_b/N_0 қатынасына, жұмыс жиілігіне, элевация бұрышына және беру жылдамдығына тәуелділігі салыстырылады. LDPC-кодтауды қолдану E_b/N_0 бойынша бірнеше децибелге дейін ұтыс беріп, 2,2–2,4 ГГц жиілік диапазонында 10 Мбит/с-қа дейінгі жылдамдықтарда BER шамамен 10^{-9} деңгейіне қол жеткізуге

мүмкіндік беретіні көрсетілді, бұл шағын КА орбиталарында арна сенімділігін едәуір арттырады. Сонымен қатар арнаның ағымдағы энергетикалық қоры есебінен «модуляция – код – жылдамдық» комбинациясын бейімделмелі таңдау қағидаттары қарастырылып, деректер беру жылдамдығын SDR деңгейінде басқару іске асырылады. Алынған нәтижелерді наноспутниктердің телеметриялық және сервистік байланыс арналарын жобалау мен оңтайландыруда, сондай-ақ жерүсті сынақ стендтерінде және шағын ғарыш аппараттарының ұшу үлгілерінде SDR жабдығын әзірлеу және сынау кезінде пайдалануға болады.

Түйін сөздер. SDR, шағын ғарыш аппараттары, жер станциялары, радиожилілік, сенімділікті арттыру, кодтау, модуляция, спутниктік байланыс

© Д.Т. Сагидолдин¹, А.Т. Жетписбаева^{2*}, Б.Р. Жумажанов¹,
Б.С. Жумажанов¹, 2025.

¹ ТОО «Ghalam», Астана, Казахстан;

² Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева,
Астана, Казахстан.
E-mail: aigulji@mail.ru

ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ С МАЛЫХ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ SDR ОБОРУДОВАНИЯ

Сагидолдин Даулет — Инженер-конструктор, ТОО«Ghalam», Астана, Казахстан,
E-mail: d.sagidoldin@ghalam.kz, <https://orcid.org/0009-0008-0495-8247>;

Жетписбаева Айну́р — PhD, ассоциированный профессор, кафедра «Радиотехника, электроника и телекоммуникациялар», Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан,
E-mail: aigulji@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4525-5299>;

Жумажанов Берик — Начальник отдела полезной нагрузки и научных разработок, ТОО «Ghalam», Астана, Казахстан,
E-mail: b.zhumazhanov@ghalam.kz, <http://orcid.org/0000-0001-5926-9619>;

Жумажанов Бексултан — Инженер-конструктор, ТОО«Ghalam», Астана, Казахстан,
E-mail: zhumazhanov.b@ghalam.kz, <https://orcid.org/0009-0000-9493-7491>.

Аннотация. В статье рассматривается повышение надежности радиолинии «малый космический аппарат – наземная станция» при жестких ограничениях по мощности и ресурсам борта. В качестве основы передающей части используется программно-определяемый радиотракт на базе трансивера AD9364 в сочетании с усилителем мощности НМС998, обеспечивающим требуемый энергетический потенциал канала связи. Основное внимание уделено исследованию методов помехозащищенного кодирования и управления скоростью передачи данных. Выполнено численное моделирование в канале с аддитивным белым гауссовским шумом с учетом расстояния до 2000 км, параметров антенн, показателя G/T приемника и дополнительных потерь

тракта. Анализируются модуляции BPSK, QPSK, 8-PSK и GMSK в сочетании с кодами LDPC, Turbo и Reed–Solomon; сравниваются зависимости BER от отношения E_b/N_0 , рабочей частоты, угла элевации и скорости передачи. Показано, что применение LDPC-кодирования обеспечивает выигрыш по E_b/N_0 до нескольких децибел и позволяет достигать BER порядка 10^{-9} в диапазоне частот около 2,2–2,4 ГГц при скоростях до 10 Мбит/с, что существенно повышает надежность канала при орбитах малых КА. Дополнительно рассматриваются принципы адаптивного выбора комбинации «модуляция – код – скорость» в зависимости от текущего запаса по энергетике канала, что фактически реализует управление скоростью передачи на уровне SDR. Полученные результаты могут быть использованы при проектировании и оптимизации каналов телеметрии и служебной связи наноспутников, а также при разработке и испытаниях SDR-аппаратуры на наземных стендах и летных образцах малых космических аппаратов.

Ключевые слова. SDR, малые космические аппараты, земные станции, радиочастота, повышение надежности, кодирование, модуляция, спутниковая связь

Благодарность. Данное исследование финансировалось Комитетом науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан (BR27198365 «Разработка оптикоэлектронной системы в коротковолновой инфракрасной области спектра в контексте развития космических систем ДЗЗ Казахстана»).

Введение. Спутниковые платформы представляют собой инновационную парадигму, предлагая экономически эффективные и высокоэффективные технологические решения с уменьшенной задержкой. Они обеспечивают покрытие больших зон обслуживания, включая регионы, где наземная сотовая инфраструктура недоступна, такие как слаборазвитые страны, сельские районы, северный и южный полюса. Эти особенности также делают возможными новые типы космических полетов, учитывая низкую стоимость готовых коммерческих электронных компонентов, способных выполнять множество различных задач, таких как защита окружающей среды (Mukherjee et al, 2013; Davies et al, 2019).

В данной работе рассматривается подход, направленный на повышение надежности связи за счет применения SDR на базе трансивера AD9364 в сочетании с усилителем мощности HMC998. Для оценки эффективности предложенного решения проведено моделирование различных схем модуляции и методов помехоустойчивого кодирования.

Цель исследования – определить оптимальные комбинации параметров передачи данных, которые обеспечивают минимальную вероятность ошибок и высокую устойчивость к внешним помехам при передаче данных с МКА.

SDR – это гибкая технология, которая позволяет проектировать адаптивную систему связи. Соответственно, общая конструкция оборудования может использоваться для удовлетворения различных потребностей в связи с различными частотами, схемами модуляции и скоростями передачи данных (Maheshwarappa et al, 2021). Процесс внедрения радиосвязи включает в себя настройку параметров фильтрации, таких как частоты пропускания и заграждения, а также цифровые квадратурные преобразования и корректировки скорости передачи данных с использованием процессов дискретизации вверх и вниз.

В этих сценариях последние достижения в области малых спутников и приемопередатчиков с миниатюрными спутниковыми антеннами делают их хорошим решением, так как использование спутников на низкой околоземной орбите (LEO), размещенных в составе группировки или кластеров, может обеспечить повсеместное покрытие, гарантируя высокую скорость передачи данных и низкие уровни задержки (Bacco et al, 2019)

Учитывая растущее число запусков малых спутников, группировки малых спутников с межспутниковой связью (ISLS) привлекли большое внимание с точки зрения услуг наблюдения и связи. Например, в попытке усилить это преимущество, было разработано многофункциональное пространство на базе программно-определяемой радиосвязи (SDR). link (GAMALINK) появился как коммуникационное решение для создания ISL, ориентированное на небольшие спутниковые платформы, в качестве альтернативы крупным и дорогостоящим космическим миссиям (Rodrigues et al, 2013).

Программируемая радиосвязь (SDR) стала одним из новых методов, уменьшающих многофакторность оборудования и, кроме того, изменяющих маршрут для традиционных систем дистанционной связи. Проектирование многонастраиваемой системы на основе ПЛИС делает её адаптивной и многообразной. В этой задаче представлен план сегмента обработки основной полосы частот программно-определяемого радио с использованием QPSK, BPSK и план кодирования с использованием кода Хэмминга (Vishnuvardhan G. et al. 2019).

Авторы данной статьи разрабатывают математическую модель для демонстрации надежности небольшой спутниковой сети в отношении структур SDR, мощности передаваемого сигнала на восходящих и нисходящих каналах, кодовых скоростей и коллизий пакетов с помощью усовершенствованного протокола RA. Модель обеспечивает количественную надежность сети в отношении частоты отказов системы SDR, допустимых параметров связи и коэффициента потери пакетов (PLR). Наш анализ предлагает методологию оценки различий в надежности сети в зависимости от изменений параметров связи и рекомендации по поддержанию надежности сетевой системы с соответствующими значениями параметров (Seunghwa et al, 2021; Bacco et al, 2019).

Двоичная фазовая манипуляция (BPSK) и квадратурная фазовая манипуляция (QPSK) являются важными методами модуляции, используемыми во многих стандартах связи. В данной работе разработан приёмопередатчик реального времени для BPSK и QPSK с использованием программно-определяемой радиосистемы (SDR). Приёмопередатчик разработан программно в LabVIEW, а в качестве аппаратных средств используются два универсальных программных радиопериферийных устройства 2921 (USRP 2921) (Mehmet et al, 2018).

В данной статье описывается разработка и аппаратная реализация системы связи типа SDR на основе ПЛИС для наноспутника. Основные функции, выполняемые на борту, — это демодуляция FM/FSK для восходящего канала телекоманд и модуляция BPSK с фильтрацией приподнятого косинуса для нисходящего канала телеметрии. Вся система спроектирована и реализована на основе ПЛИС Microsemi Smartfusion2. Для аппаратной оценки системы используется ПЛИС Virtex-6 с высокоскоростной аналоговой дочерней платой (Nivin et al, 2016)

Обеспечение надежной передачи данных от малых космических аппаратов (МКА) к наземным станциям является важной задачей в современных спутниковых проектах. Ограниченные ресурсы МКА, такие как малая мощность передатчика и размеры антенн, предъявляют особые требования к системам радиосвязи. Программно-определяемая радиосвязь (SDR) позволяет гибко настраивать параметры передачи данных, выбирать подходящие схемы модуляции и адаптировать систему к текущим условиям радиоканала. Однако стандартные SDR-решения не всегда обеспечивают достаточную мощность сигнала для уверенного приема на больших расстояниях.

МКА (SmallSats или малые спутники) включают космические аппараты массой менее 180 кг (<https://www.nasa.gov/what-are-smallsats-and-cubesats/>). CubeSats подпадают под определение МКА. Стандарты предписывают, что они весят максимум 1,33 кг и имеют размеры 1 см × 1 см × 1 см.

При увеличении скорости передачи данных требуется либо повышение выходной мощности, либо снижение уровня шума, либо сокращение дальности связи. Современные подсистемы спутниковой связи отдают предпочтение адаптивным системам, поскольку в неадаптивных решениях используется, как правило, минимальная скорость передачи для обеспечения устойчивой работы радиоканала.

Традиционно SDR применяются для снижения затрат и сроков разработки систем связи (Heuberger et al, 2009). Современные исследования направлены на повышение их производительности и подготовку к интеграции искусственного интеллекта (ИИ) в спутниковые системы. Адаптивные решения позволяют настраивать усилитель спутника в реальном времени, чтобы соответствовать ограничениям плотности мощности и обеспечивать достаточный уровень сигнала на приеме. Это дает возможность эффективно

использовать ресурсы спутника и передавать максимальный объем данных в зависимости от условий радиоканала.

Таким образом, новизна исследовательской работы заключается в том, что проект оптимизирует производительность системы SDR для малых спутников, и он использует инструменты, доступные большинству разработчиков спутников.

(Yasir et al, 2021) исследование способствует улучшению систем на основе SDR путем разработки адаптивного передатчика и приемника пакетной связи, которые могут использовать окно связи CubeSats и малых спутников. В соответствии с обратной связью от приемника передатчик изменяет характеристики сигнала. Теоретически система может принимать много режимов, но для простоты и для подтверждения концепции здесь изменения ограничены тремя скоростями передачи данных схемы модуляции гауссовой минимальной манипуляции сдвигом (GMSK), т. е. 2400 бит/с GMSK, 4800 бит/с GMSK и 9600 бит/с GMSK, которые являются наиболее популярными в любительских малых спутниках.

Материалы и методы. В работе реализована система радиосвязи для МКА на базе SDR. В качестве основных компонентов использовались трансивер AD9364, обеспечивающий работу в диапазоне частот от 70 МГц до 6 ГГц с возможностью гибкой настройки параметров передачи данных, и усилитель мощности HMC998, способный повышать выходную мощность до +31 дБм для увеличения радиуса устойчивой радиосвязи спутника с наземной станцией. Для анализа характеристик системы проводилось компьютерное моделирование с учетом условий: расстояние между спутником и наземной станцией от 600 до 2000 км при угле элевации от 10° до 40°, мощность передатчика 30 дБм, усиление антенны 8 дБи, показатель шумовой температуры приемного тракта G/T на уровне 12 дБ/К и дополнительные потери в тракте передачи около 4,5 дБ. В ходе моделирования оценивалась эффективность различных схем модуляции (BPSK, QPSK, 8-PSK и GMSK), а также методов помехоустойчивого кодирования (LDPC, Turbo-коды и Reed–Solomon). Основным показателем, использованным для анализа, была вероятность битовой ошибки BER, рассчитываемая при изменении параметров радиоканала, таких как отношение С/Ш, частота несущей и скорость передачи данных. Все расчеты выполнялись с использованием программного обеспечения MATLAB/Simulink и специализированных скриптов на Python, что обеспечивало высокую точность моделирования и возможность объективной оценки параметров связи для разработки надежных систем передачи данных с МКА.

Результаты и обсуждение. Использование AD9364 позволяет гибко выбирать тип модуляции и скорость в зависимости от текущих условий радиоканала. Интеграция с HMC998 позволяет компенсировать потери при дальнем распространении и увеличить отношение С/Ш. Адаптивная

настройка SDR-модуля под особенности канала позволяет сохранить низкий уровень ошибок даже на высоких частотах.

В отличие от фиксированных радиосистем, SDR-архитектура с HMC998:

- увеличивает радиус действия;
- поддерживает адаптивную модуляцию;
- снижает требования к наземной станции;
- позволяет реализовать ARQ и FEC (например, LDPC).

Формулы для оценки вероятности BER в зависимости от отношения E_b/N_0 приведены в работах (Ladvánszky et al, 2021; Álvarez et al, 2024) имеют вид:

Для BPSK:

$$P_b = Q\left(\sqrt{2 \cdot \frac{E_b}{N_0}}\right). \quad (1)$$

Для QPSK:

$$P_b \approx Q\left(\sqrt{2 \cdot \frac{E_b}{N_0}}\right). \quad (2)$$

Для 8-PSK:

$$P_b \approx 2Q\left(\sqrt{2 \cdot \frac{E_b}{N_0}} \cdot \sin^2(\pi/8)\right). \quad (3)$$

Функция Q:

$$Q(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_x^\infty e^{-t^2/2} dt \quad (4)$$

На рисунке 1 представлена зависимость вероятности битовой ошибки от частоты при различных схемах модуляции на расстоянии 2000 км.

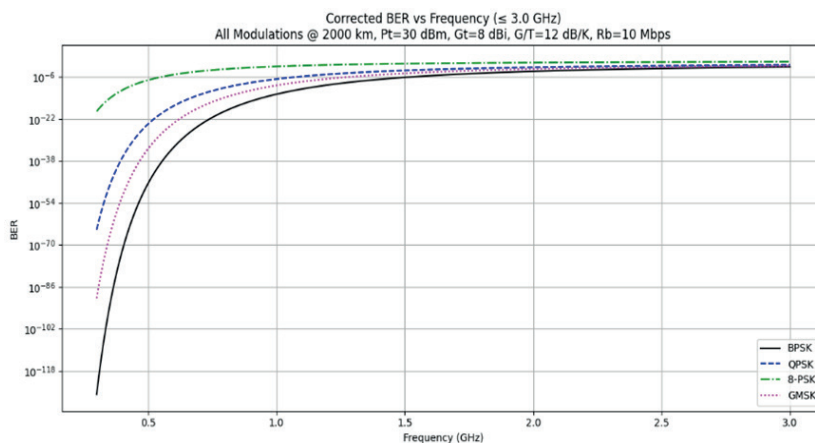


Рисунок 1 – BER в зависимости от частоты (до 3.0 ГГц) для различных модуляций при расстоянии 2000 км.

График показывает, что BPSK обеспечивает наилучшую устойчивость к искажениям. GMSK и QPSK демонстрируют похожую производительность, а 8-PSK – наихудшую на низких частотах. При частотах выше 2 ГГц BER стабилизируется для всех модуляций. Далее на рисунке 2 показана зависимость BER от угла элевации при частоте 2,2 ГГц и орбите 600 км.

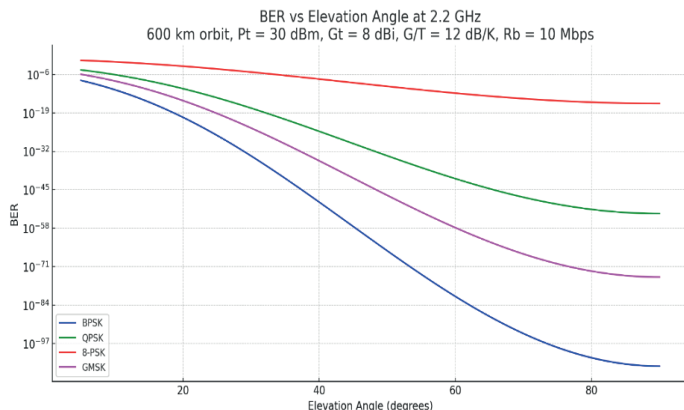


Рисунок 2 – BER от угла элевации при частоте 2.2 ГГц и орбите 600 км

BER уменьшается с ростом угла элевации, так как путь сигнала становится короче и влияние атмосферы снижается. Особенно ярко этот эффект проявляется при углах менее 40°.

Как показано в таблице 1, для каждой схемы модуляции определена частота, при которой BER достигает уровня примерно 10^{-5} при расстоянии 2000 км.

Таблица 1 – Частоты, при которых $BER \approx 10^{-5}$ для различных модуляций при расстоянии 2000 км

Модуляция	Частота (ГГц)	Модуляция	Частота (ГГц)
BPSK	2,17 ГГц	8-PSK	1,03 ГГц
QPSK	1,52 ГГц	GMSK	2,11 ГГц

Эффект кодирования. Применение каналов с коррекцией ошибок, особенно LDPC и Turbo-кодов, значительно снижает BER и позволяет использовать более высокие частоты без ухудшения качества приема. LDPC-коды показали наибольшую эффективность и позволили достичь BER порядка 10^{-9} при частотах выше 2 ГГц.

Как показано в таблице 2, применение LDPC-кодов обеспечивает наилучшее снижение BER по сравнению с Turbo-кодами и кодами Рида–Соломона для всех исследованных схем модуляции.

Таблица 2. Сравнение эффективности методов помехоустойчивого кодирования для различных видов модуляции

Модуляция	LDPC	Turbo	Reed–Solomon
BPSK	6,0	5,0	2,5
QPSK	5,5	4,5	2,5
8-PSK	4,5	4,0	2,0
GMSK	5,0	4,5	2,5

Данные в таблицах и графиках получены в результате численного моделирования канала связи с учетом расстояния, параметров антенны, мощности передатчика и показателя G/T приемника. Расчеты базируются на известных моделях из работ Proakis, Haykin и Anderson и выполнены с помощью MATLAB/Simulink и Python-скриптов моделирования радиоканала.

На рисунках 3–5 представлены зависимости BER от частоты для схем модуляции BPSK, QPSK и 8-PSK при использовании различных методов помехоустойчивого кодирования (LDPC, Turbo и Reed–Solomon) на расстоянии 2000 км.

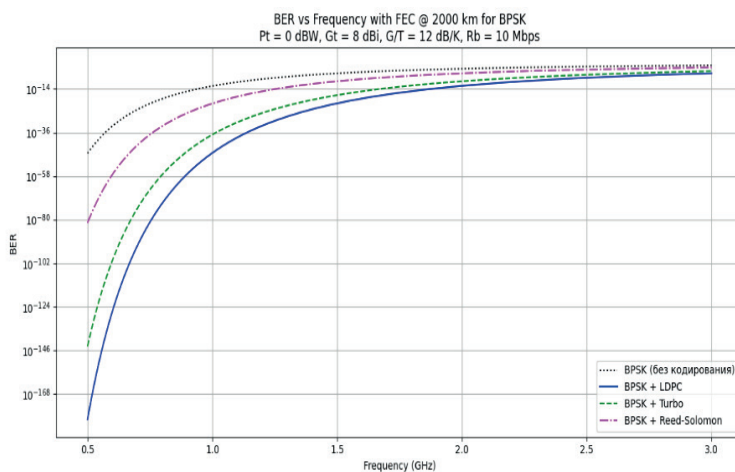


Рисунок 3 – BER от частоты при кодировании BPSK (сравнение LDPC, Turbo и Reed–Solomon).

BPSK с LDPC-кодированием достигает экстремально низких значений BER даже при частотах ниже 1 ГГц. Turbo-коды показывают близкие результаты, а Reed–Solomon уступает по эффективности. Без кодирования уровень BER превышает 10^{-14} практически на всех частотах, демонстрируя важность применения помехоустойчивого кодирования.

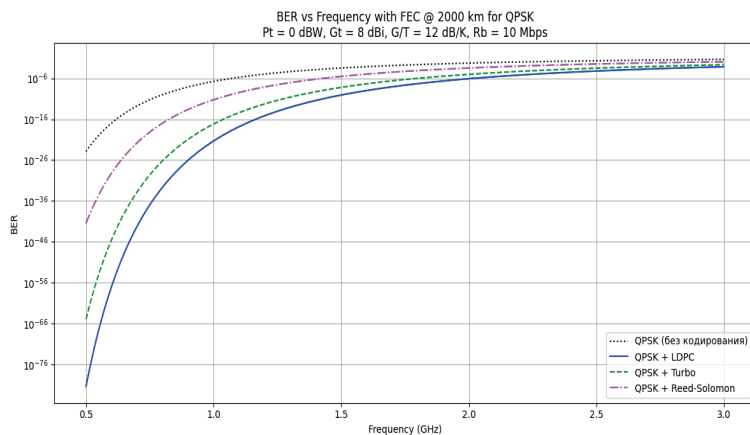


Рисунок 4 – BER от частоты при кодировании QPSK (сравнение LDPC, Turbo и Reed–Solomon)

LDPC-коды демонстрируют наилучшую эффективность, снижая BER на несколько порядков по сравнению с некодированной QPSK. Turbo-коды немного уступают LDPC, а Reed–Solomon – наименее эффективен в данном случае.

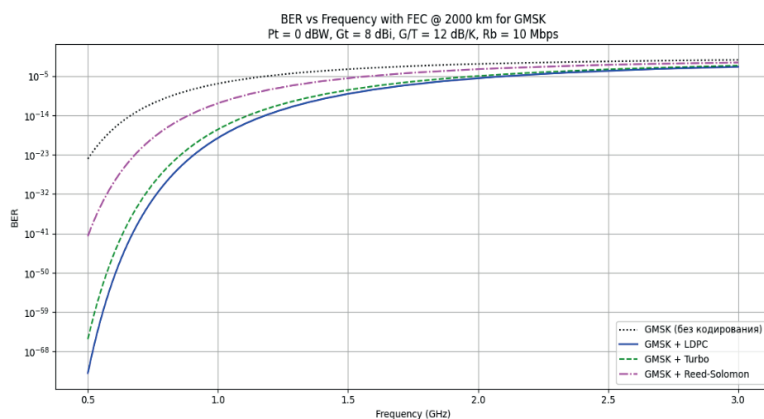


Рисунок 4 – BER от частоты при кодировании 8-PSK (сравнение LDPC, Turbo и Reed–Solomon).

LDPC-коды позволяют достичь $BER < 10^{-9}$ уже при частотах около 1,2 ГГц, тогда как Turbo и Reed–Solomon требуют более высоких частот. Без кодирования BER превышает 10^{-3} на всех частотах.

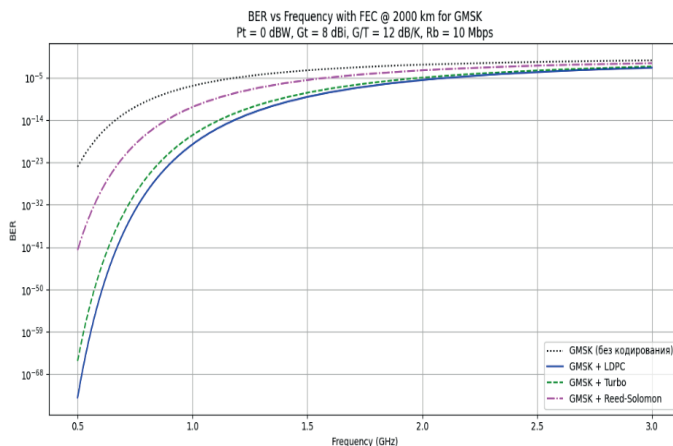


Рисунок 5 – BER от частоты при кодировании GMSK (сравнение LDPC, Turbo и Reed–Solomon).

Как и для других модуляций, LDPC-кодирование наилучшим образом снижает BER. Turbo-коды показывают чуть худшие значения, но остаются эффективными. Reed–Solomon уступает по эффективности и требует большей частоты.

Частотные границы для достижения $BER \approx 10^{-9}$ после LDPC-кодирования. Эти минимальные значения, начиная с которых канал связи можно считать надежным при использовании соответствующего типа модуляции с LDPC-кодированием.

Как показано в таблице 3, определены минимальные частоты, начиная с которых канал связи можно считать надежным при использовании соответствующего типа модуляции с LDPC-кодированием.

Таблица 3. Частотные границы для достижения $BER \approx 10^{-9}$ после LDPC-кодирования для различных модуляций

Кодирование	Частота (ГГц)	Кодирование	Частота (ГГц)
BPSK + LDPC	2,41	8PSK + LDPC	2,18
QPSK + LDPC	2,39	GMSK + LDPC	2,34

На рисунках 6 и 7 представлены зависимости BER от частоты при различных скоростях передачи данных для схем модуляции BPSK и QPSK с LDPC-кодированием.

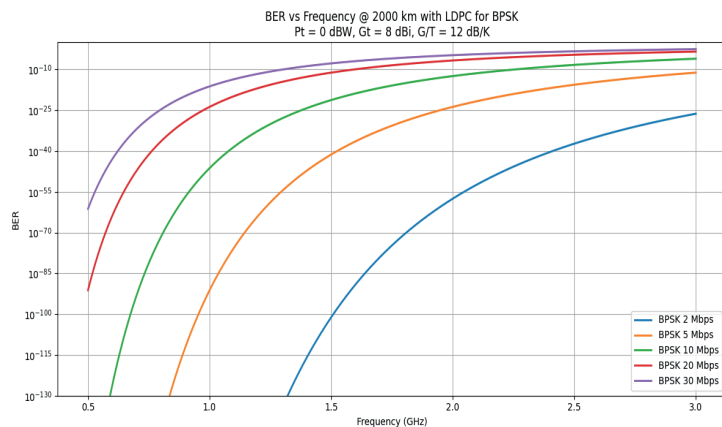


Рисунок 6 – BER от частоты при различных скоростях передачи для BPSK с LDPC-кодированием.

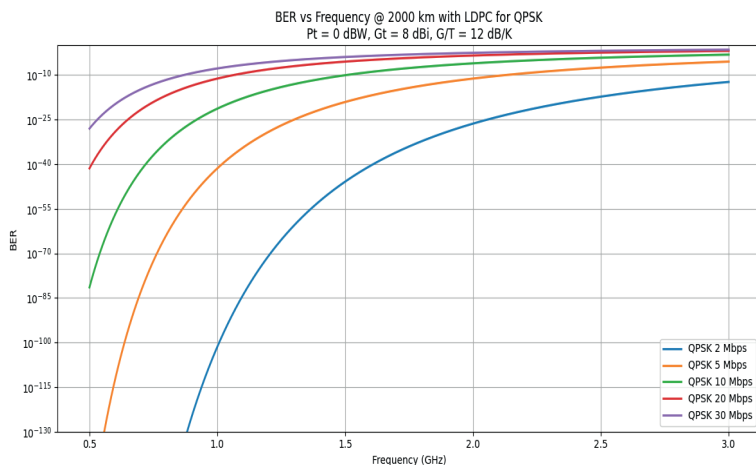


Рисунок 7 – BER от частоты при различных скоростях передачи для QPSK с LDPC-кодированием.

Графики показывают, что при использовании LDPC-кодирования BER значительно снижается для всех частот и скоростей передачи данных. Для BPSK на частотах ниже 1 ГГц высокая надежность сохраняется только при скоростях до 2–5 Мбит/с, тогда как при увеличении скорости до 20–30 Мбит/с BER возрастает. Аналогичные зависимости характерны для QPSK, но при более низких частотах деградация качества связи происходит быстрее. Таким образом, увеличение скорости передачи данных требует выбора частоты выше 2 ГГц для обеспечения надежности связи на уровне $BER \approx 10^{-9}$.

Таким образом, применение SDR на базе AD9364 в сочетании с мощным усилителем НМС998 и кодированием LDPC обеспечивают низкий BER (до 10^{-9}), что существенно улучшает надежность связи даже при удаленных

орбитах. Представленные графики демонстрируют эффективность каждого этапа улучшения: модуляции, кодирования и усиления сигнала.

Обсуждение. Результаты моделирования подтверждают, что модуляция BPSK демонстрирует наилучшую устойчивость к помехам, обеспечивая крайне низкий BER при частотах до 4 ГГц и скоростях передачи данных до 0,5 Мбит/с. При увеличении скорости до 10 Мбит/с надежность снижается уже при частотах выше 1,5 ГГц. Модуляция QPSK также показывает хорошие характеристики при низких скоростях и частотах до 3,8 ГГц, но ее устойчивость падает при скорости 10 Мбит/с, где допустимый диапазон частот сужается до примерно 1,2 ГГц. Для 8-PSK наблюдается высокая чувствительность к снижению отношения сигнал/шум, что ограничивает ее применение при больших скоростях передачи. GMSK демонстрирует поведение, близкое к BPSK на низких скоростях, и может быть использована для энергосберегающих систем при частотах до 4 ГГц и скоростях до 1 Мбит/с. Таким образом, выбор схемы модуляции и скорости передачи данных должен учитывать требуемую надежность связи и условия работы радиоканала.

Заключение. Применение SDR на базе AD9364 в сочетании с усилителем мощности НМС998 дает возможность повысить надежность передачи данных с МКА. Проведенное моделирование показало, что система демонстрирует высокую устойчивость к помехам и позволяет эффективно работать в диапазоне частот от 300 МГц до 4–5 ГГц при скорости передачи данных до 1–2 Мбит/с. Анализ различных схем модуляции подтвердил, что BPSK и QPSK являются наиболее надежными по показателю вероятности битовой ошибки BER на типичных орбитах CubeSat. Полученные результаты показывают, что использование SDR в сочетании с помехоустойчивым кодированием и усилением мощности позволяет обеспечить качественную связь даже при ограниченных ресурсах МКА, и могут быть использованы в дальнейшем при проектировании современных спутниковых систем связи.

References

- Maheshwarappa M.R., Bridges C.P. (2015) Software Defined Radios for Small Satellites. In Proceedings of the NASA/ESA Conference on Adaptive Hardware and Systems (AHS), Montreal, QC.— P. 1-6. (in English)
- Mukherjee J., Ramamurthy B. (2013) Communication technologies and architectures for space network and interplanetary Internet IEEE Commun. Surv. Tut. — Vol. 15, № 2. — P. 881-897. (in English)
- Davies A. (2019) Satellite IoT forecast 2019-202. Available: <http://tinyurl.com/y32s68qs> (in English)
- Bacco M. et al.(2019) IoT applications and services in space information networks IEEE Wireless Commun., vol. 26, no. 27. — P. 31–37. (in English)
- Rodrigues P., Oliveira A., Cunha S., Pinho R., Cordeiro C.S., and Carvelho R.A. (2013) GAMANET: Disrupting communications and networking in space In Proc. Int. Astronautical Congr. — P. 4237–4245. (in English)
- Vishnuvardhan G. Rao, A.Mohammed Abbas,S. Palantrivel. (2019) Design of Multi Modulation Scheme for Software Defined Radio using FPGA. International Journal of Engineering and Advanced Technology (IJEAT). — Vol. 9 — P. 1-7. (in English)

Seunghwa Jung;Jihwan P. Choi (2019) Reliability of Small Satellite Networks With Software-Defined Radio and Enhanced Multiple Access Protocol. IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, — P. 1–6. (in English)

Bacco M., Boero L., Cassara P., Colucci M., Gotta A., Marchese M., Patrone F. (2019) “IoT Applications 2019 and Services in Space Information Networks,” IEEE Wireless Commun. — Vol. 26, №. 2. — P. 31–37. (in English)

ZengIn, Mehmet Ali; Kucuk, Kerem; Colak, Sultan Aldirmaz (2018). [IEEE 2018 26th Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU) - Izmir, Turkey (2018.5.2-2018.5.5)] 2018 26th Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU) - Real-time PSK transceiver design and implementation using software defined radio. — P. 1–4. doi:10.1109/SIU.2018.8404260 (in English)

Nivin R, Rani J Sheeba, Vidhya P . (2016) 2016 International Conference on Communication Systems and Networks (ComNet). Design and hardware implementation of reconfigurable nano satellite communication system using FPGA based SDR for FM/FSK demodulation and BPSK modulation. – P. 1–6. doi:10.1109/CSN.2016.7823976 (in English)

What are SmallSats and CubeSats. Available online: <https://www.nasa.gov/content/what-are-small-sats-and-cubesats> (accessed on 10 May 2021) (in English)

Heuberger A. Mehnert M. Burkhardt F. Oschek J. (2021) Advanced receiver module for satellite standard ETSI-SDR (ESDR). In Proceedings of the IEEE 13th International Symposium on Consumer Electronics 2009, Kyoto, Japan, 25-28 May 2009. . — P. 765-768. (in English)

Yasir M. O., Kenichi Asami (2021) Design of Software-Defined Radio-Based Adaptable Packet Communication System for Small Satellites. Aerospace. — 8(6), P.159-165. <https://doi.org/10.3390/aerospace8060159> (in English)

Ladvánszky J. (2021) There is no Theoretical Limit for Noise Reduction in Digital Communications. Netw. Commun. Technol. — 6(1) . — P. 34— 42. (in English)

García-Álvarez J. C. (2024) Introduction to Communication Systems. In Digital Electronic Communications. — P. 3-10. (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.