

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



«ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ
ҰЛТТЫҚ ҒЫЛЫМ АКАДЕМИЯСЫ» РҚБ

Х А Б А Р Л А Р Ы

ИЗВЕСТИЯ

РОО «НАЦИОНАЛЬНОЙ
АКАДЕМИИ НАУК РЕСПУБЛИКИ
КАЗАХСТАН»

N E W S

OF THE NATIONAL ACADEMY OF
SCIENCES OF THE REPUBLIC OF
KAZAKHSTAN

SERIES OF PHYSICS AND MATHEMATICS

2 (354)

APRIL – JUNE 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>

Mamyrbayev 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 Zhanabaeovich, 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 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>

News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan.

Series of Physics and Mathematics

ISSN 2518-1726 (Online),

ISSN 1991-346X (Print)

Owner: RPA «National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan» (Almaty).

Certificate No. **KZ20VPY00113741** on the re-registration of the periodical printed and online publication of the information agency, issued on **28.02.2025** 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.*

Editorial address: *28, Shevchenko str., of. 219, Almaty, 050010, tel. 272-13-19*

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

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

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

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

«ҚР ҰҒА Хабарлары. Физика-математика сериясы».

ISSN 2518-1726 (Online),

ISSN 1991-346X (Print)

Меншіктеуші: «Қазақстан Республикасының Ұлттық ғылым академиясы» РҚБ (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 **28.02.2025** ж. берген №**KZ20VPY00113741** Күзлік.

Тақырыптық бағыты: *ақпараттық-коммуникациялық технологиялар*

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

Мерзімділігі: жылына 4 рет.

Редакцияның мекен-жайы: 050010, Алматы қ., Шевченко көш., 28, 219 бөл., тел.: 272-13-19

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

© «Қазақстан Республикасының Ұлттық ғылым академиясы» РҚБ, 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» Комитета науки МНВО РК (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 Андей, 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>

«Известия НАН РК. Серия физико-математическая».

ISSN 2518-1726 (Online),

ISSN 1991-346X (Print)

Собственник: *Республиканское общественное объединение «Национальная академия наук Республики Казахстан» (г. Алматы).*

Свидетельство о постановке на переучет периодического печатного издания, информационного агентства и сетевого издания № **KZ20VPU00113741**. Дата выдачи **28.02.2025**

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.*

Адрес редакции: *050010, г. Алматы, ул. Шевченко, 28, оф. 219, тел.: 272-13-19*
<http://www.physico-mathematical.kz/index.php/en/>

© РОО «Национальная академия наук Республики Казахстан», 2025

CONTENTS

INFORMATION AND COMMUNICATION TECHNOLOGIES

O. Auyelbekov, E. Bostanov, R. Berkutbayeva, A. Seidildayeva, I. Musabekova ANALYSIS OF AGRICULTURAL YIELDS IN KAZAKHSTAN USING UNMANNED AERIAL VEHICLES AND AI.....	12
S.T. Akhmetova, S.U. Ismailov, A.A. Batyrbekov, A.S. Ismailova PREREQUISITES FOR CREATION OF A VIRTUAL 3D MODEL OF AN UNMANNED UNIVERSAL CROPPING TRACTOR.....	33
A. Bekarystankyzy, O. Mamyrbayev, D. Oralbekova, A. Yerimbetova, M. Turdalyuly TESTING THE AUDIO-TEXT DATASET FOR KAZAKH LANGUAGE USING THE CONFORMER ENCODER.....	50
G. Bekmanova, M. Kantureeva, A. Omarbekova, B. Ergesh, A. Zakirova THE USE AND IMPACT ASSESSMENT OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN HIGHER EDUCATION.....	61
N.S. Yesmukhamedov, S. Sapakova, Syed Abdul Rahman Al-Haddad, D. Daniyarova DEVELOPMENT OF AN INFORMATION SYSTEM ARCHITECTURE FOR HEALTHCARE INSTITUTIONS USING ARTIFICIAL INTELLIGENCE.....	74
T. Zhukabayeva, V. Desnitsky, Y. Mardenov, N. Karabayev INFORMATION SECURITY INCIDENT MANAGEMENT IN IIOT SYSTEMS WITH EDGE COMPUTING.....	92
M. Ilesbay, A. Tynymbayev, S. Mambetov, A. Barakova, O. Joldasbayev INTEGRATED METHOD OF INFORMATION PROTECTION BASED ON DATA COMPRESSION, ENCRYPTION AND SEPARATION.....	107
B.A. Karibayev, N. Meirambekuly, M. Ibraim, A.S. Baikenov, G.B. Ikhsan DESIGN OF A SIX-ELEMENT S-BAND ANTENNA ARRAY FOR CUBESAT.....	125
N. Karymsakova, K. Ozhikenov, M. Bolysbek, R. Beisembekova ARCHITECTURE OF THE MEDICAL REHABILITATION PLATFORM.....	140

D. Kuanyshbay, A. Shoiynbek, K. Rabbany, A. Bekarystankyzy, A. Mukhametzhanov COMPARISON OF MACHINE LEARNING AND REINFORCEMENT LEARNING FOR DEPRESSION RECOGNITION FROM SPEECH.....	155
E. Nysanov, Zh. Kemelbekova, E. Abdrashova, S. Kurakbaeva, A. Baydibekova MODELING AND CALCULATION OF THE FLOW OF THREE-PHASE MEDIA WITH VARIABLE CONCENTRATIONS.....	169
B. Orazbaev, Z. Kuzhukhanova, K. Orazbaeva, A. Kishubaeva DEVELOPMENT OF MODELS OF ATMOSPHERIC AND RECTIFICATION COLUMNS IN PRIMARY OIL REFINING.....	181
D. Rakhimova, A. Sarsenbayeva, A. Turarbek, A. Auezova THE USE OF DEEP LEARNING TO IMPROVE THE ACCURACY OF ANSWERS IN MULTILINGUAL QUESTION-AND-ANSWER SYSTEMS...	196
L. Rzayeva, D. Pogolovkin, A. Myrzatay DEVELOPMENT OF A MODULAR NLP-BASED CORRESPONDENCE ANALYSIS SERVICE FOR DIGITAL FORENSICS.....	212
A.T. Sankibayev, I. Makhambayeva, K. Kanibaikyzy, A. Temirbek MODELING OF VIBRATIONAL PROCESSES IN WOLFRAM MATHEMATICA SYSTEM.....	234
N.M. Temirbekov, A.K. Turarov NUMERICAL SOLUTION OF THE DIRECT AND INVERSE PROBLEM OF GAS LIFT OIL PRODUCTION PROCESS BY THE METHOD OF CONJUGATE EQUATIONS.....	251
Z. Utemaganbetov, Kh. Ramazanova, K. Bizhanova, R. Assylbayeva AN ANALYTICAL AND NUMERICAL METHOD FOR TRANSFERRING BOUNDARY CONDITIONS FOR A ONE-DIMENSIONAL DIFFUSION EQUATION.....	280
M. Khizirova, K. Chezhimbayeva, A. Kassimov, M. Yermekbayev RESEARCH ON DISTRIBUTION TRAFFIC AND DISTRIBUTION METHODS IN VANET NETWORKS.....	294
K. Yakunin, D. Kusain, R.I. Mukhamediev, N. Yunicheva, N. Kuldeyev INTEGRATION OF FLIGHT PATH PLANNING PROGRAMS AND CONTROL SYSTEMS OF UNMANNED AERIAL VEHICLES.....	317

МАЗМҰНЫ

АҚПАРАТТЫҚ-КОММУНИКАЦИЯЛЫҚ ТЕХНОЛОГИЯЛАР

Ө. Әуелбеков, Е. Бостанов, Р. Беркутбаева, А. Сейдилдаева, І. Мусабекова
ҚАЗҚАСТАНДА АУЫЛ ШАРУАШЫЛЫҒЫ ӨНІМДІЛІГІН ҰШҚЫШСЫЗ
ҰШУ АППАРАТТАРЫ МЕН ЖАСАНДЫ ИНТЕЛЛЕКТ КӨМЕГІМЕН
ТАЛДАУ.....12

С.Т. Ахметова, С.У. Исмаилов, А.А. Батырбеков, А.С. Исмаилова
ЖҮРГІЗУШІСІЗ ӘМБЕБАП ЕГІН ЕГЕТІН ТРАКТОРДЫҢ ВИРТУАЛДЫ
3D МОДЕЛІН ҚҰРУДЫҢ АЛҒЫ ШАРТТАРЫ.....33

А. Бекарыстанқызы, О. Мамырбаев, Д. Оралбекова, А. Еримбетова,
М. Тұрдалыұлы
CONFORMER ШИФРЛАУШЫСЫН ҚОЛДАНЫП ҚАЗАҚ ТІЛІНДЕ АУДИО-
МӘТІН ТҮРІНДЕ ЖИНАЛҒАН МӘЛІМЕТТЕР ҚОРЫН СЫНАУ.....50

Г.Т. Бекманова, М.А. Кантуреева, А.С. Омарбекова, Б. Ж. Ергеш,
А.Б. Закирова
ЖОҒАРЫ БІЛІМ БЕРУДЕ ЖАСАНДЫ ИНТЕЛЛЕКТТІ ҚОЛДАНУ
ЖӘНЕ ӘСЕРІН БАҒАЛАУ.....61

Н.С. Есмұхамедов, С. Сапақова, Сайд Абдул Рахман Әл-Хаддад,
Д. Даниярова,
МЕДИЦИНАЛЫҚ МЕКЕМЕЛЕРГЕ АРНАЛҒАН ЖАСАНДЫ
ИНТЕЛЛЕКТТІ ҚОЛДАНАТЫН АҚПАРАТТЫҚ ЖҮЙЕ
АРХИТЕКТУРАСЫН ӘЗІРЛЕУ.....74

Т. Жукабаева, В. Десницкий, Е. Марленов, Н. Карабаев
ПОТ-ЖҮЙЕЛЕРІНДЕГІ АҚПАРАТТЫҚ ҚАУІПСІЗДІК ИНЦИДЕНТТЕРІН
ШЕТКІ ЕСЕПТЕУЛЕРДІ ПАЙДАЛАНА ОТЫРЫП БАСҚАРУ.....91

М.А. Ілесбай, Ә.Б. Тынымбаев, С.Т. Мамбетов, А.Ш. Баракова,
О.К. Джолдасбаев
ДЕРЕКТЕРДІ СЫҒУ, ШИФРЛАУ ЖӘНЕ БӨЛУ НЕГІЗІНДЕ
АҚПАРАТТЫ ҚОРҒАУДЫҢ БІРІКТІРІЛГЕН ӘДІСІ.....107

Б.А. Карибаев, Н. Мейрамбекұлы, М. Ибраим, А.С. Байкенов, Г.Б. Ихсан
SUBESAT ҮШІН АЛТЫ ЭЛЕМЕНТТІ S-ДИАПАЗОНДЫ АНТЕННА
ТОРЫН ЖОБАЛАУ.....125

Н.Т. Карымсакова, К.А. Ожикенов, М.Е. Болысбек, Р.Н. Бейсембекова
МЕДИЦИНАЛЫҚ ОҢАЛТУ ПЛАТФОРМА АРХИТЕКТУРАСЫ.....140

Д. Қуанышбай, А. Шойынбек, К. Раббани, А. Мұхаметжанов, Б. Мералиев
СӨЙЛЕУ АРҚЫЛЫ ДЕПРЕССИЯНЫ ТАҢУ ҮШІН МАШИНАЛЫҚ
ОҚЫТУ МЕН КҮШЕЙТУ АРҚЫЛЫ ОҚЫТУДЫ САЛЫСТЫРУ.....155

**Е.А. Нысанов, Ж.С. Кемельбекова, Э.Т. Абдрашова, С.Ж. Куракбаева,
А.О. Байдибекова**
АЙНЫМАЛЫ КОНЦЕНТРАЦИЯЛЫ ҮШ ФАЗАЛЫ ОРТАЛАРДЫҢ
АҒЫНЫН МОДЕЛЬДЕУ ЖӘНЕ ЕСЕПТЕУ.....169

Б. Оразбаев, Ж. Кужуханова, К. Оразбаева, А. Кишубаева
МҰНАЙДЫ БАСТАПҚЫ ӨНДЕУ КЕЗІНДЕ АТМОСФЕРАЛЫҚ
ЖӘНЕРЕТИФИКАЦИЯЛЫҚКОЛОНОЛАРЫНЫҢ МОДЕЛЬДЕРІН
ӘЗІРЛЕУ.....181

Д. Рахимова, А. Сарсенбаева, Ә. Турарбек, Ә. Ауезова
КӨП ТІЛДІ СҰРАҚ-ЖАУАП ЖҮЙЕЛЕРІНДЕ ЖАУАПТАРДЫҢ
ДӘЛДІГІН АРТТЫРУ ҮШІН ТЕРЕҢ ОҚЫТУДЫ ҚОЛДАНУ.....196

Л. Рзаева, Д. Поголовкин, А.Мырзатай
ЦИФРЛЫҚ КРИМИНАЛИСТИКА ҮШІН NLP НЕГІЗІНДЕГІ МОДУЛЬДІК
ХАТ АЛМАСУДЫ ТАЛДАУ ҚЫЗМЕТІН ӘЗІРЛЕУ.....212

А.Т. Санкибаев, И. Махамбаева, К. Канибайқызы, А. Темирбек
ТЕРБЕЛІСТЕР ҮДЕРІСІН WOLFRAM MATHEMATICA ЖҮЙЕСІНДЕ
МОДЕЛДЕУ.....234

Н.М. Темирбеков, А.К. Тураров
МҰНАЙ ӨНДІРУДІҢ ГАЗЛИФТТІК ПРОЦЕСІНІҢ ТУРА ЖӘНЕ КЕРІ
ЕСЕПТЕРІН ТҮЙІНДЕС ТЕҢДЕУЛЕР ӘДІСІМЕН САНДЫҚ ШЕШУ.....251

З. Утемаганбетов, Х. Рамазанова, К. Бижанова, Р. Асылбаева
БІРӨЛШЕМДІ ДИФФУЗИЯ ТЕҢДЕУІ ҮШІН ШЕКАРАЛЫҚ
ШАРТТАРДЫ КӨШІРУДІҢ АНАЛИТИКАЛЫҚ-САНДЫҚ ӘДІСІ.....280

М. Хизирова, К. Чежимбаева, А. Касимов, М. Ермекбаев
VANET ЖЕЛІЛЕРІНДЕ ТАРАТУ ТРАФИГІН ЖӘНЕ ТАРАТУ
ӘДІСТЕРІН ЗЕРТТЕУ.....294

К. Якунин, Д. Құсайын, Равиль И. Мухамедиев, Н. Юничева, Н. Кульдеев
ҰШУ МАРШРУТТАРЫН ЖОСПАРЛАУ БАҒДАРЛАМАЛАРЫ МЕН
ҰШҚЫШСЫЗ ҰШУ АППАРАТТАРЫН БАСҚАРУ ЖҮЙЕЛЕРІН
ҰШТАСТЫРУ.....317

СОДЕРЖАНИЕ

ИНФОРМАЦИОННО-КОММУНИКАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

О. Ауелбеков, Е. Бостанов, Р. Беркутбаева, А. Сейдилдаева, И. Мусабекова АНАЛИЗ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ УРОЖАЙНОСТИ В КАЗАХСТАНЕ С ПОМОЩЬЮ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ И ИИ.....	12
С.Т. Ахметова, С.У. Исмаилов, А.А. Батырбеков, А.С. Исмаилова ПРЕДПОСЫЛКИ СОЗДАНИЯ ВИРТУАЛЬНОЙ 3D МОДЕЛИ БЕСПИЛОТНОГО УНИВЕРСАЛЬНОГО ПРОПАШНОГО ТРАКТОРА.....	33
А. Бекарыстанкызы, О. Мамырбаев, Д. Оралбекова, А. Еримбетова, М. Турдалыулы ТЕСТИРОВАНИЕ КОРПУСА ДАННЫХ В ВИДЕ АУДИО-ТЕКСТ НА КАЗАХСКОМ ЯЗЫКЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ CONFORMER	50
Г.Т. Бекманова, М.А. Кантуреева, А.С. Омарбекова, Б.Ж. Ергеш, А.Б. Закирова ИСПОЛЬЗОВАНИЕ И ОЦЕНКА ВОЗДЕЙСТВИЯ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В ВЫСШЕМ ОБРАЗОВАНИИ.....	61
Н.С. Есмухамедов, С. Сапакова, Сайед Абдул Рахман Аль-Хаддад, Д. Даниярова РАЗРАБОТКА АРХИТЕКТУРЫ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ МЕДИЦИНСКИХ УЧРЕЖДЕНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА.....	74
Т. Жукабаева, В. Десницкий, Е. Марденов, Н. Карабаев УПРАВЛЕНИЕ ИНЦИДЕНТАМИ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ В ПОТ-СИСТЕМАХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГРАНИЧНЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ.....	92
М.А. Илесбай, А.Б. Тынымбаев, С.Т. Мамбетов, А.Ш. Баракова, О.К. Джолдасбаев ИНТЕГРИРОВАННЫЙ МЕТОД ЗАЩИТЫ ИНФОРМАЦИИ НА ОСНОВЕ СЖАТИЯ, ШИФРОВАНИЯ И РАЗДЕЛЕНИЯ ДАННЫХ.....	107

Б.А. Каримаев, Н. Мейрамбекулы, М. Ибраим, А.С. Байкенов, Г.Б. Ихсан ПРОЕКТИРОВАНИЕ ШЕСТИЭЛЕМЕНТНОЙ АНТЕННОЙ РЕШЕТКИ S-ДИАПАЗОНА ДЛЯ CUBESAT.....	125
Н.Т. Карымсакова К.А. Ожикенов, М.Е. Болысбек, Р.Н. Бейсембекова АРХИТЕКТУРА ПЛАТФОРМЫ МЕДИЦИНСКОЙ РЕАБИЛИТАЦИИ.....	140
Д. Куанышбай, А. Шойынбек, К. Раббани, А. Бекарыстанкызы, А. Мухаметжанов СРАВНЕНИЕ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ И ОБУЧЕНИЯ С ПОДКРЕПЛЕНИЕМ ДЛЯ РАСПОЗНАВАНИЯ ДЕПРЕССИИ ПО РЕЧИ.....	155
Е.А. Нысанов, Ж.С. Кемельбекова, Э.Т. Абдрашова, С.Ж. Куракбаева, А.О. Байдибекова МОДЕЛИРОВАНИЕ И РАСЧЕТ ТЕЧЕНИЯ ТРЕХФАЗНЫХ СРЕД С ПЕРЕМЕННЫМИ КОНЦЕНТРАЦИЯМИ.....	169
Б. Оразбаев, Ж. Кужуханова, К. Оразбаева, А. Кишубаева РАЗРАБОТКА МОДЕЛЕЙ АТМОСФЕРНЫХ И РЕКТИФИКАЦИОННЫХ КОЛОНН ПРИ ПЕРВИЧНОЙ ПЕРЕРАБОТКЕ НЕФТИ.....	181
Д. Рахимова, А. Сарсенбаева, А. Турарбек, А. Ауезова ПРИМЕНЕНИЕ ГЛУБОКОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТИ ОТВЕТОВ В МУЛЬТИЯЗЫЧНЫХ ВОПРОСНО-ОТВЕТНЫХ СИСТЕМАХ.....	196
Л. Рзаева, Д. Поголовкин, А. Мырзатай РАЗРАБОТКА МОДУЛЬНОГО СЕРВИСА АНАЛИЗА ПЕРЕПИСОК НА ОСНОВЕ NLP ДЛЯ ЦИФРОВОЙ КРИМИНАЛИСТИКИ.....	212
А.Т. Санкибаев, И. Махамбаева, К. Канибайкызы, А. Темирбек МОДЕЛИРОВАНИЕ ВИБРАЦИОННОГО ПРОЦЕССА В СИСТЕМЕ WOLFRAM MATHEMATICA.....	234
Н.М. Темирбеков, А.К. Тураров ЧИСЛЕННОЕ РЕШЕНИЕ ПРЯМОЙ И ОБРАТНОЙ ЗАДАЧИ ГАЗЛИФТНОГО ПРОЦЕССА ДОБЫЧИ НЕФТИ МЕТОДОМ СОПРЯЖЕННЫХ УРАВНЕНИЙ.....	251

З. Утемаганбетов, Х. Рамазанова, К. Бижанова, Р. Асылбаева АНАЛИТИКО-ЧИСЛЕННЫЙ МЕТОД ПЕРЕНОСА КРАЕВЫХ УСЛОВИЙ ДЛЯ ОДНОМЕРНОГО УРАВНЕНИЯ ДИФФУЗИИ.....	280
М. Хизирова, К. Чежимбаева, А. Касимов, М. Ермекбаев ИССЛЕДОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТРАФИКА И МЕТОДОВ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ В СЕТЯХ VANET.....	294
К. Якунин, Д. Кусайын, Р.И. Мухамедиев, Н. Юничева, Н. Кульдеев СОПРЯЖЕНИЕ ПРОГРАММ ПЛАНИРОВАНИЯ МАРШРУТОВ ПОЛЕТА И СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ.....	317

NEWS OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN
PHYSICO-MATHEMATICAL SERIES

ISSN 1991-346X

Volume 2. Number 354 (2025). 125–139

<https://doi.org/10.32014/2025.2518-1726.348>

MPHTI 47.45.29

УДК 621.396.677

©**B.A. Karibayev**^{1,2}, **N. Meirambekuly**^{1*}, **M. Ibraim**²,
A.S. Baikenov², **G.B. Ikhsan**², 2025.

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

²Almaty University of Power Engineering and Telecommunications named after
G. Daukeev, Almaty, Kazakhstan.

E-mail: nurs.kaznu@gmail.com

DESIGN OF A SIX-ELEMENT S-BAND ANTENNA ARRAY FOR CUBESAT

Karibaev Beibit — PhD, Senior Lecturer, Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan,
E-mail: beibitkaribaev7@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-1057-0296>;

Meirambekuly Nursultan — PhD, Senior Lecturer, Al-Farabi Kazakh National University, Almaty,
Kazakhstan,

E-mail: nurs.kaznu@gmail.com, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-2250-4763>;

Ibraim Merey — Master of Technical Sciences, Researcher, Almaty University of Power Engineering
and Telecommunications named after Gumarbek Daukeev, Almaty, Kazakhstan,

E-mail: m.ibraim@aues.kz; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-8630-0167>;

Baikenov Alimzhan — PhD, Professor, Almaty University of Power Engineering and
Telecommunications named after Gumarbek Daukeev, Almaty, Kazakhstan,

E-mail: a.baikenov@aues.kz, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-6490-3159>;

Ikhsan, Gulfeiruz — Master of Technical Sciences, Researcher, Almaty University of Power
Engineering and Telecommunications named after Gumarbek Daukeev, Almaty, Kazakhstan,

E-mail: gulfeyruz.ikhsan@gmail.com, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-0556-166X>.

Abstract. In this work, an innovative and highly efficient approach to designing an integrated six-element antenna array together with an Earth remote sensing camera for CubeSat-standard nanosatellites was demonstrated. One of the main challenges in designing subsystems for nanosatellites, including antenna systems, is the miniaturization and versatility of the product. The presented antenna system meets the main requirements and is a viable option for solving given tasks. *Results.* The proposed antenna, with a reflection coefficient of -17 dB at the resonant frequency and a narrow beamwidth of 62 degrees, provides optimal characteristics for CubeSat satellite systems. In particular, it is known that one of the main requirements for CubeSat antennas is to demonstrate high-level directivity properties. It ensures efficient and reliable operation in the frequency range from 2.31 GHz to 2.67 GHz, with a resonance at 2.49 GHz and a communication bandwidth

of 360 MHz. The antenna's gain in the main direction is 10.14 dB, meeting the requirements for compact spacecraft with directional characteristics. *Scientific novelty.* The new design of the six-element antenna array, which optimizes antenna placement by integrating it with the camera on the same side of the CubeSat, marks a significant advancement in CubeSat antenna technology. This feature may simplify the operation of the spacecraft's attitude control system, thereby improving the overall energy efficiency and reliability of the system. *Practical value.* The results obtained for the design of antennas for CubeSat, including scientific missions, remote sensing of the Earth, testing new technologies, as well as in all situations where high-speed data transmission is required.

Keywords: antenna, CubeSat, antenna arrays, Earth Observation, S-band

©Б.А. Карибаев^{1,2}, Н. Мейрамбекұлы^{1*}, М. Ибраим²,
А.С. Байкенов², Г.Б. Ихсан², 2025.

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

² Ғұмарбек Дәукеев атындағы Алматы энергетика және байланыс университеті, Алматы, Қазақстан.

E-mail: nurs.kaznu@gmail.com

CUBESAT ҮШІН АЛТЫ ЭЛЕМЕНТТІ S-ДИАПАЗОНДЫ АНТЕННА ТОРЫН ЖОБАЛАУ

Карибаев Бейбит Абдирбекович — PhD, аға оқытушы, әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан,

E-mail: beibitkaribaev7@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-1057-0296>;

Мейрамбекұлы Нұрсұлтан — PhD, аға оқытушы, әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан,

E-mail: nurs.kaznu@gmail.com, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-2250-4763>;

Ибраим Мерей Сатыпалдыұлы — техника ғылымдарының магистрі, ғылыми қызметкер, Ғ. Дәукеев атындағы Алматы энергетика және байланыс университеті, Алматы, Қазақстан,

E-mail: m.ibraim@aes.kz, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-8630-0167>;

Байкенов Алимжан — PhD, профессор, Ғ. Дәукеев атындағы Алматы энергетика және байланыс университеті, Алматы, Қазақстан,

E-mail: a.baikenov@aes.kz, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-6490-3159>;

Ихсан Гүлфейруз Бауыржанқызы — техника ғылымдарының магистрі, ғылыми қызметкер, Ғ. Дәукеев атындағы Алматы энергетика және байланыс университеті, Алматы, Қазақстан,

E-mail: gulfeyrus.ihsan@gmail.com, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-0556-166X>.

Аннотация. Бұл жұмыста CubeSat стандартына сай наноспутниктерге арналған Жерді қашықтықтан зондтау камерасымен біріктірілген алты элементті антенна торын жобалаудың инновациялық және жоғары тиімді тәсілі көрсетілді. Наноспутниктерге арналған қосалқы жүйелерді, соның ішінде антенналық жүйелерді жобалаудағы негізгі міндеттердің бірі — өнімнің шағындығы мен әмбебаптығы. Ұсынылған антенна жүйесі осы талаптарға сәйкес келеді және бұл мәселелерді шешудің бір нұсқасы

бола алады. Нәтижелер. Ұсынылған антенна резонанстық жиілікте -17 дБ шағылысу коэффициентіне және 62 градус болатын тар сәуле еніне ие бола отырып, CubeSat жүйелері үшін оңтайлы сипаттамаларға ие. Атап айтқанда, CubeSat антенналарына қойылатын негізгі талаптардың бірі - жоғарғы деңгейлі бағыттаушылық және күшейту қасиеттерін көрсетуі талап етілетіні белгілі. Ол 2,31 ГГц пен 2,67 ГГц аралығындағы жиілік диапазонында, 2,49 ГГц резонанстық жиілігі мен 360 МГц байланыс арнасының енімен тиімді және сенімді жұмыс істей алады. Антеннаның негізгі бағыттағы күшейту коэффициенті — 10,14 dB, бұл шағын ғарыш аппараттары антенналарының бағытталған сипаттамаларына қойылатын талаптарға сай келеді. Ғылыми жаңалығы. Алты элементті антенна торының жаңа конструкциясы антеннаны CubeSat-тың сол жағында орналасқан камерамен біріктіре отырып, оның орналасуын оңтайландырады. Бұл CubeSat антенна технологиясындағы елеулі жетістік болып табылады. Антеннаның бұл ерекшелігі аппараттың бағдарлау жүйесінің жұмысын жеңілдетуге және бүкіл жүйенің энергетикалық қауіпсіздігін арттыруға көмектесуі мүмкін. Практикалық маңыздылығы. Алынған нәтижелер шағын ғарыш аппараттарына арналған тиімді антенна жүйелерін жобалауда, соның ішінде соңғы жылдары белең алған, ғылыми зерттеу миссияларында, Жерді қашықтықтан зондтауда, жаңа технологиялық құралдарды тексеруде, сондай-ақ жоғары жылдамдықты деректерді жеткізу қажет болатын барлық жағдайларда пайдаланылуына мүмкіндік бар.

Түйін сөздер: антенна, CubeSat, антенна торлары, жерді қашықтықтан зондтау, S-диапазон

**©Б.А. Карибаев^{1,2}, Н. Мейрамбекулы^{1*}, М. Ибраим²,
А.С. Байкенов², Г.Б. Ихсан², 2025.**

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

²Алматинский университет энергетики и связи им. Г. Даукеева,
Алматы, Казахстан.

E-mail: nurs.kaznu@gmail.com

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ШЕСТИЭЛЕМЕНТНОЙ АНТЕННОЙ РЕШЕТКИ S-ДИАПАЗОНА ДЛЯ CUBESAT

Карибаев Бейбит Абдирбекович — PhD, старший преподаватель Казахского национального университета имени аль-Фараби, Алматы, Казахстан,
E-mail: beibitkaribaev7@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-1057-0296>;

Мейрамбекулы Нурсултан — PhD, старший преподаватель Казахского национального университета имени аль-Фараби, Алматы, Казахстан,
E-mail: nurs.kaznu@gmail.com, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-2250-4763>;

Ибраим Мерей Сатыпалдыұлы — магистр технических наук, научный сотрудник, Алматинский университет энергетики и связи им. Г. Даукеева, Алматы, Казахстан,
E-mail: m.ibraim@uaes.kz, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-8630-0167>;

Байкенов Алимжан — PhD, профессор, Алматинский университет энергетики и связи, Алматы, Казахстан,

E-mail: a.baikenov@aues.kz, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-6490-3159>;

Ихсан Гулфейруз Бауыржанкызы — магистр технических наук, научный сотрудник, Алматинский университет энергетики и связи им.Г. Даукеева, Алматы, Казахстан,

E-mail: gulfeyrus.ihсан@gmail.com, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-0556-166X>.

Аннотация. В данной работе было продемонстрировано инновационный и высокоэффективный подход к проектированию интегрированной шестиэлементной антенной решетки вместе с камерой дистанционного зондирования Земли для наноспутников стандарта CubeSat. Одной из основных задач при проектировании подсистем для наноспутников, в том числе антенных систем, является миниатюризация и универсальность продукта. Представленная антенная система отвечает данным запросам и поможет является вариантом решения представленных задач. Результаты. Предложенная антенна, обладая коэффициентом отражения -17 дБ на резонансной частоте и узкой шириной луча в 62 градуса, обеспечивает оптимальные характеристики для спутниковых систем CubeSat, в частности, высоких направленных свойств и усиления. Антенна эффективно и надёжно работает в диапазоне частот от 2,31 ГГц до 2,67 ГГц с резонансом на частоте 2,49 ГГц и шириной канала связи 360 МГц. Коэффициент усиления антенны по основному направлению 10,14 дБ показывает соответствие требуемым для малых космических направленных характеристик. Научная новизна. Новая конструкция шестиэлементной антенной решетки, которая оптимизирует размещение антенны за счет интеграции ее с камерой на той же стороне CubeSat, знаменует собой значительный прогресс в технологии антенн CubeSat. Данная особенность антенны может помочь упростить работу системы ориентации космического аппарата, тем самым повысив энергетическую безопасность всей системы. Практическая ценность. Полученные результаты могут быть использованы при проектировании эффективных антенных систем для малых космических аппаратов, в том числе для научно-исследовательских миссий, которые становятся все более популярными в последние годы, в дистанционном зондировании Земли, тестировании новых технологических средств, а также во всех ситуациях, когда требуется высокоскоростная передача данных.

Ключевые слова: антенна, CubeSat, антенные решетки, дистанционное зондирование земли, S-диапазон

Финансирование. Данное исследование опубликовано при финансовой поддержке Комитета науки Министерства науки и высшего образования в рамках Грантового финансирования по проекту ИРН №AP23488357 «Разработка и создание антенных решеток S, X диапазонов, интегрированных с полезными нагрузками малого космического аппарата формата CubeSat» (2024-2026).

Введение. Малые космические аппараты (МКА) становятся все более значимыми в космической индустрии благодаря своей экономичности, гибкости и возможностям быстрого развертывания. Различные типы и конфигурации МКА позволяют решать широкий спектр задач, от научных исследований и образовательных проектов до коммерческих и военных приложений (Le Moigne, et al., 2020). CubeSat является одним из самых популярных и широко используемых форматов МКА (Shiroma, et al., 2011). CubeSat (1U) представляет собой куб с ребром 10 см и массой до 1.33 кг. В зависимости от задачи, CubeSat могут быть составлены в конфигурации 1U, 3U, 6U и даже 12U, где «U» означает «unit» (Cappelletti, et al., 2021; García-Sánchez, et al., 2024).

Дистанционное зондирование Земли (ДЗЗ) представляет собой одну из наиболее востребованных областей применения CubeSat (Maciel, et al., 2019). Благодаря своим характеристикам, CubeSat позволяют осуществлять мониторинг и сбор данных с орбиты при относительно низких затратах, что делает их идеальными для многих задач, связанных с наблюдением Земли.

Несмотря на многочисленные преимущества CubeSat-ы также имеют ряд недостатков, связанных с их конструктивными особенностями (ограниченные размеры, масса и возможности маневрирования) и ограничениями по энергоэффективности связанные с маленькой площадью солнечных панелей. Поэтому, размещение подсистем и полезных нагрузок в CubeSat требует особого внимания и тщательных расчетов.

Одним из таких подсистем являются антенны, критически важный элемент в конструкции CubeSat, поскольку они обеспечивают связь с Землей и другими космическими аппаратами. Эффективное проектирование и размещение антенн играет ключевую роль в успешном выполнении миссий CubeSat. Существует несколько типов антенн, такие как монопольные, дипольные, патч, спиральные и антенные решетки, которые широко используются в современных CubeSat, каждый из которых обладает своими уникальными характеристиками и преимуществами (Abulgasem, et al., 2021; Liu, et al., 2022; Saeed, et al., 2020). Монопольные и дипольные антенны просты в конструкции и изготовлении. Они состоят из одного или нескольких проводников, которые могут быть развернуты после выхода CubeSat на орбиту (Johnson, et al., 2020). Развертывание таких антенн обычно осуществляется механически или с помощью пружинных механизмов. Но, подобные раскрывающиеся антенные системы с дополнительными автоматизированными механизмами и технологиями во многих случаях являются основной причиной статуса «DOA – Dead-on-Arrival» из-за сбоя развёртывания антенн. Используются в основном в VHF (30-300 МГц) и UHF (300 МГц - 3 ГГц) диапазонах, обеспечивая стабильную связь. Чаще всего имеют линейную поляризацию, что может быть полезно для определенных типов связи (Zhang et al., 2020).

Патч-антенны обеспечивают направленное излучение, что увеличивает эффективность передачи данных. Обычно используются для S-диапазона

(2-4 ГГц) и выше (Samsuzzaman et al., 2018). Однако во многих случаях они занимают значительное пространство на поверхности CubeSat-ов, что ограничивает возможности размещения других полезных нагрузок. Спиральные антенны обеспечивают круговую поляризацию, что полезно для связи с устойчивостью к ориентации CubeSat и могут работать в широком диапазоне частот, от L (1-2 ГГц) до S (2-4 ГГц) диапазонов (Meirambekuly et al., 2023). На их положительные электродинамические характеристики, они могут быть неудобны в конструктивном плане для CubeSat-ов связанное со сложностями развёртывания. Кроме того, спиральные антенны в геометрическом плане имеют очень чувствительные параметры такие как, расстояние между витками спирали вдоль оси, угол подъема и общая высота (Balanis, 2024). Не правильное восстановление этих параметров после развёртывания приведет к частотным смещениям, изменению направленности и рассогласованности входных сопротивлений на частоте расчетного канала связи.

Использование антенных решеток в CubeSat-ах имеет несколько преимуществ: улучшенная направленность диаграммой направленности, повышенный коэффициент усиления и возможность электронного сканирования без механических движущихся частей (Jiménez, et al., 2023; Buttazzoni, et al., 2017). Такие свойства делают их важным элементом в конструкциях CubeSat, особенно в контексте миссий по ДЗЗ.

Выше рассмотренные антенны и различные антенные системы для CubeSat показали, что все они, включая антенные решетки не интегрируются с полезными нагрузками, несмотря на их хорошие технические характеристики. Если учесть, что одной из важных особенностей конструкции спутников CubeSat является их небольшие размеры и объемы (1U – 10см*10см*10см), то эффективное использование поверхности наноспутника для оптимального расположения подсистем является актуальной проблемой. В данной работе рассматривается дизайн четырехэлементной антенной решетки и возможность ее оптимальной интеграции с оптической камерой ДЗЗ. Рассматриваемая антенная решетка выполнена в виде патч-антенн, поскольку эта концепция не требует дополнительных механизмов развертывания и устойчива к различным механическим воздействиям и нагрузкам во время запуска и эксплуатации. Оптические камеры должны иметь прямой обзор на Землю, а антенны должны быть расположены так, чтобы не создавать затенения для камер и не блокировать их обзор. Особенностью рассматриваемой концепции является то, что антенная решетка и плоскость объектива оптической камеры будут размещены на одной стороне CubeSat. Это решение минимизирует необходимость маневрирования и, таким образом, повышает энергоэффективность.

Материалы и методы

В данном разделе описаны основные характеристики рассматриваемой технологии, размеры, геометрия, методы проектирования и интеграции

антенной системы с камерой наноспутника. Геометрические параметры антенны

Проектирование рассматриваемой антенной системы включает в себя расчет их физических размеров и электрических характеристик, что напрямую связано с частотными характеристиками антенны и свойствами ее излучения. Основными параметрами, которые необходимо определить, являются длина и ширина полосового элемента, расстояние между элементами решетки.

На рисунке 1 показана схема антенной решетки, встроенной в одну из сторон спутника CubeSat. В левой части рисунка показан вид антенной решетки сверху (рис. 1a). Конструкция включает в себя несколько ключевых элементов. Дипольные антенны, изготовленные из медных полосок на поверхности FR4, являются основными элементами решетки. Они расположены симметрично относительно центрального круглого отверстия, которое предназначено для обеспечения возможности получения изображений. Дипольные антенны, которые являются основными элементами решетки. Они расположены симметрично относительно центрального круглого отверстия диаметром d , которое предназначено для размещения оптической камеры. Четыре дипольные антенны расположены параллельно друг другу, в то время как две другие антенны расположены перпендикулярно относительно первых антенн. Такая конфигурация антенны обеспечивает излучение с круговой поляризацией. Все геометрические параметры композитных элементов приведены в таблице 1. На виде сбоку видно, насколько надежно закреплена антенна благодаря выступающим элементам, которые являются продолжениями каркасного элемента корпуса CubeSat (рис. 1б). Эти выступы обеспечивают надежное крепление антенны, сводя к минимуму возможность смещения или деформации в процессе эксплуатации. Конструкция учитывает необходимость в прочном креплении, что особенно важно для поддержания стабильности системы при нагрузках в помещении и вибрациях. На рисунке 2 показана 3D-модель антенны в интегрированном виде. При проектировании и расчете общих параметров антенной решетки были учтены геометрические размеры различных оптических камер для CubeSats (Pakartipangi et al., 2015; Khurshid et al., 2013; Wang et al., 2017). На рисунке 2b показана одна из таких камер от производителя GomSpace (GomSpace, 2018). Диаметр объектива этой камеры составляет 34 мм, что позволяет легко интегрировать такую полезную нагрузку с рассматриваемой моделью антенной решетки.

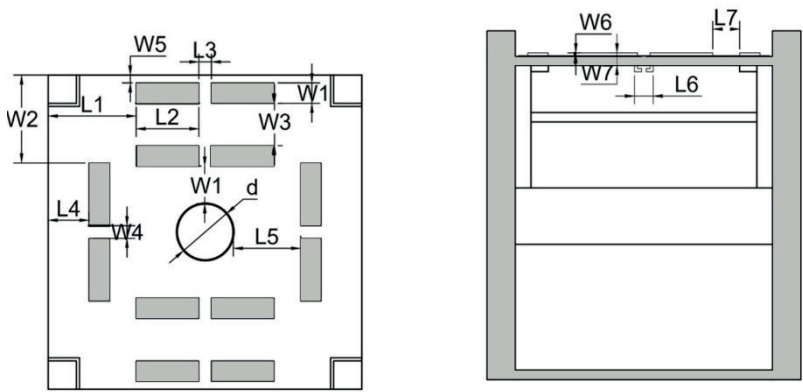


Рисунок 1. Двухмерная модель антенны

Таблица 1. физические размеры антенны

Parameters	Dimensions (mm)	Parameters	Dimensions (mm)
L1	28	W2	28
L2	20	W3	13,5
L3	4	W4	4
L4	13	W5	2,75
L5	22	W6	1
L6	6	W7	4
L7	8,5	d	38
W1	6,5		

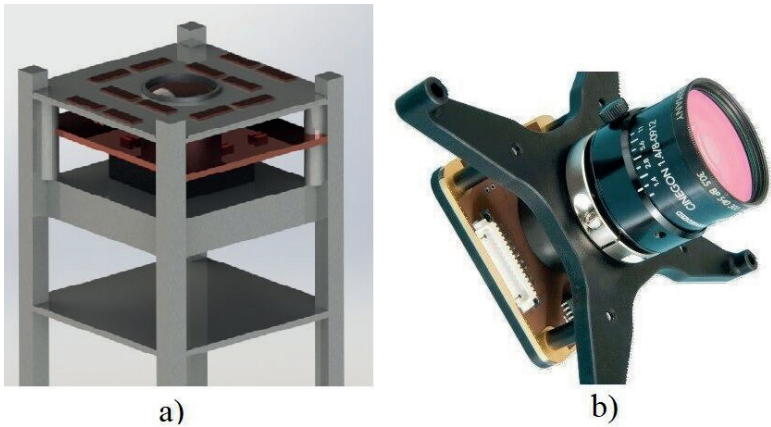


Рисунок 2. Дизайн интеграции антенны с камерой Д33

На рисунке 3 показаны различные варианты установки антенны относительно оптической камеры. Красная стрелка указывает направление обзора камеры, а синяя стрелка указывает направление максимального усиления антенны. Взаимная интеграция антенны и камеры экономит

место на поверхности Cubesat, что имеет решающее значение для SS. Это освобождает пространство для размещения других полезных устройств, таких как солнечные батареи или дополнительное оборудование. Учитывая, что спутники дистанционного зондирования всегда ориентированы в надире, такая интеграция позволяет передавать и принимать радиосигналы в нужном направлении. Поскольку антенна и камера направлены в одном направлении, это упрощает задачу ориентации спутника Cubesat в пространстве и может повысить его энергоэффективность.

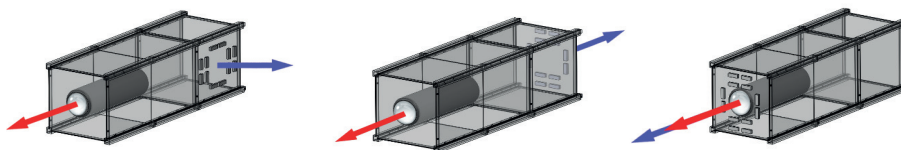


Рисунок 3. Варианты установки антенны относительно оптической камеры

Определение частотных характеристик антенны

Рабочая частота полосковой антенны в значительной степени определяется длиной ее излучающего элемента. Для определения частоты работы рассматриваемой антенны использовано следующее уравнение:

$$f = \frac{c}{\lambda} \quad (1)$$

где c – скорость света в вакууме;

λ – длина волны.

Длина волны определяется через физической длинны самой антенны.

$$\lambda = \frac{2l}{V} \quad (2)$$

где V – коэффициент укорочения. В данном случае с учетом геометрических параметров рассматриваемой антенны коэффициент укорочения равен 0,9 (Rothammel, 2013).

$$\lambda = \frac{2 * 5,4 * 10^{-2}}{0,9} = \frac{10,8 * 10^{-2}}{0,9} = 12 * 10^{-2}$$

После определение длинны волны следующим шагом является определение частоты:

$$f = \frac{3 * 10^8}{12 * 10^{-2}} = 0,25 * 10^{10} = 2,5 \text{ ГГц}$$

Результаты и обсуждения

В данном разделе представлены ключевые результаты численного моделирования и проанализированы их теоретические и практические

аспекты. Полученные данные позволяют выявить электродинамические особенности антенны, а также оценить её соответствие требованиям передачи данных в рамках миссий дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ).

Компьютерное моделирование с использованием Ansys HFSS стало важным этапом оптимизации конструкции антенны. Оно позволило проанализировать распределение электромагнитных полей, уточнить геометрию элементов, а также провести согласование по импедансу для повышения эффективности излучения и приёма.

На рисунке 4 представлена частотная зависимость коэффициента отражения S_{11} , полученная в результате численного моделирования. Минимальное значение параметра S_{11} наблюдается на частоте 2.49 ГГц, что соответствует резонансной (центральной) частоте антенны. Значения S_{11} на уровнях ниже -10 дБ охватывают диапазон частот от 2.31 ГГц до 2.67 ГГц, что указывает на рабочую полосу пропускания антенны шириной 360 МГц.

Полученные результаты свидетельствуют о хорошем согласовании антенны с волноводной системой в этом диапазоне частот. Значение S_{11} ниже -10 дБ означает, что более 90% энергии эффективно передаётся от фидера к антенне, минимизируя отражения и потери. Таким образом, антенна демонстрирует стабильную работу в пределах S-диапазона (2–4 ГГц), что делает её пригодной для приложений, связанных с беспроводной передачей данных и каналами связи CubeSat.

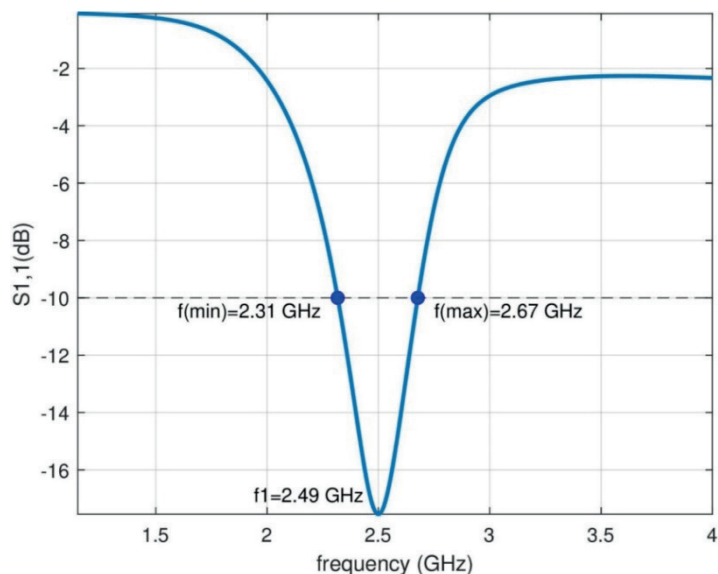


Рисунок 4. Частотная зависимость коэффициента отражения S_{11}

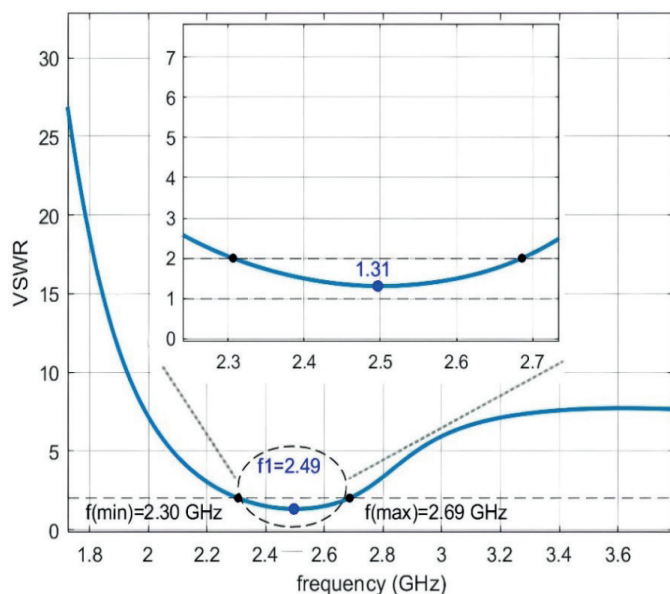


Рисунок 5. Частотная зависимость коэффициента стоячей волны по напряжению (VSWR)

На рисунке 5 показана зависимость коэффициента стоячей волны по напряжению (VSWR) от частоты. Минимум коэффициента VSWR достигается на частоте 2.49 ГГц и составляет 1.31, что свидетельствует о высоком уровне согласования антенны с линией питания. Рабочий диапазон антенны при уровне VSWR < 2 простирается от 2.30 ГГц до 2.69 ГГц, что полностью согласуется с результатами анализа параметра S11.

Диапазон значений VSWR от 1 до 2 считается приемлемым для антенн, обеспечивая передачу более 89% мощности в нагрузку без существенных отражений. Таким образом, антенна демонстрирует эффективную работу в пределах заявленного диапазона частот и удовлетворяет критериям согласования, необходимым для обеспечения стабильного канала передачи данных.

На рисунке 6 представлена пространственная диаграмма коэффициента осевого соотношения (Axial Ratio), позволяющая оценить тип поляризации антенны в различных направлениях. Минимальные значения Axial Ratio соответствуют зонам круговой поляризации, в то время как повышенные значения указывают на наличие линейной поляризации. Анализ показывает, что в направлении, перпендикулярном плоскости антенны (вверх по нормали) коэффициент Axial Ratio достигает минимальных значений, что свидетельствует

о наличии круговой поляризации в области главного лепестка. Это подтверждает, что антенна обеспечивает круговую поляризацию в основном направлении излучения, что особенно важно для приложений, где ориентация приёмного устройства может меняться во времени (например, в спутниковой связи CubeSat–Земля).

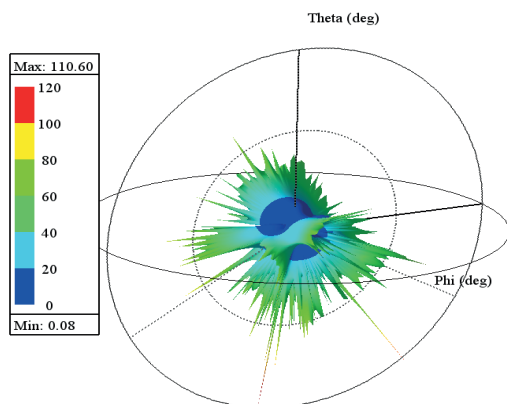


Рисунок 6. Трёхмерная диаграмма коэффициента осевого соотношения (Axial Ratio).

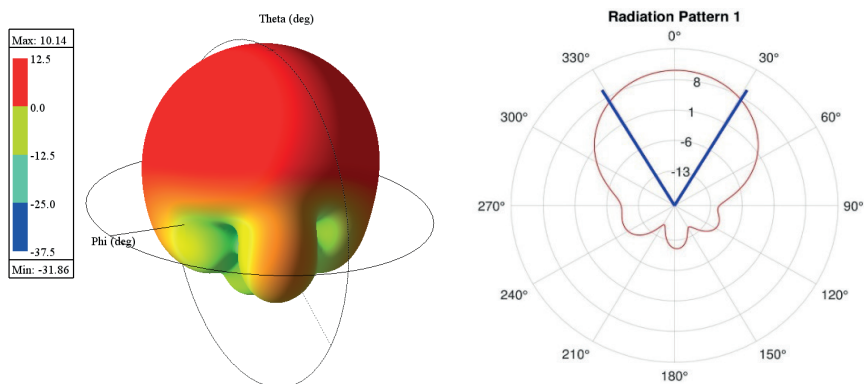


Рисунок 7. Трёхмерная и двухмерная модели диаграммы направленности антенны

На рисунке 7 представлены трёхмерная и двумерная диаграммы направленности антенны. Распределение излучения указывает на выраженный главный лепесток, направленный вверх, вдоль нормали к плоскости антенны ($\theta = 0^\circ$), что подтверждает направленную структуру излучения. Максимальный коэффициент усиления в данном направлении составляет 10.14 dB. Двумерная диаграмма, отображённая в полярных координатах, дополнительно демонстрирует форму главного лепестка и его ширину. Ширина диаграммы на уровне -3 дБ составляет приблизительно 62° , что указывает на узконаправленный характер излучения. Такая характеристика особенно важна для приложений, связанных с передачей данных с борта

CubeSat на наземную станцию, где важно минимизировать потери энергии за пределами основного направления.

На рисунке 8 представлены трёхмерные диаграммы направленности антенны при различных фазовых сдвигах между излучающими элементами. Во всех случаях сохраняется стабильная форма главного лепестка и его ориентация, а также практически одинаковое значение коэффициента усиления — от 42.8 до 43.4 в относительных единицах. Это указывает на высокую устойчивость направленных характеристик к фазовым возмущениям.

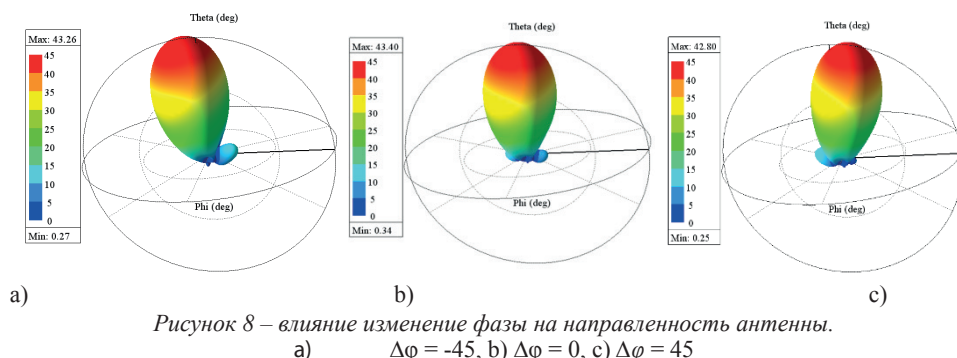


Рисунок 8 – влияние изменение фазы на направленность антенны.

a) $\Delta\phi = -45^\circ$, b) $\Delta\phi = 0^\circ$, c) $\Delta\phi = 45^\circ$

На рисунке 9 проанализирована количественная зависимость усиления (в dB) от фазового сдвига. Видно, что при изменении фазы от 0° до 45° коэффициент усиления изменяется незначительно — в пределах от 10.3 до 10.5 dB, без резких провалов или всплесков. Таким образом, результирующая диаграмма направленности и усиление антенны демонстрируют стабильность при варьировании фазового возбуждения, что важно для практических применений в условиях возможных аппаратных неточностей или динамической компенсации.

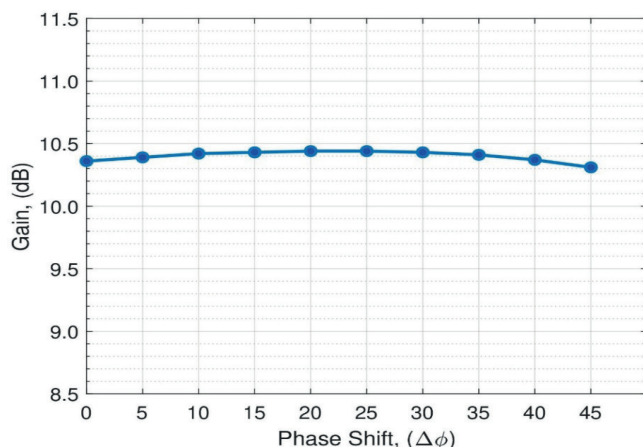


Рисунок 9. Зависимость коэффициента усиления от фазового сдвига.

Заключение

В ходе данного исследования было продемонстрировано инновационный и высокоэффективный подход к проектированию интегрированной шестиэлементной антенной решетки вместе с камерой ДЗЗ для наноспутников CubeSat. Важно отметить, что такая интеграция была достигнута без увеличения физических размеров CubeSat, что имеет решающее значение в условиях ограниченных возможностей наноспутников. Работая в S-диапазоне, эта антенная система обеспечивает значительные преимущества перед наноспутниками, использующими антенны в UHF- и L-диапазонах. S-диапазон обеспечивает значительно более высокую пропускную способность, что необходимо для передачи больших объемов данных дистанционного зондирования, что является критическим требованием для миссий по наблюдению Земли. Кроме того, меньшая восприимчивость S-диапазона к атмосферным помехам по сравнению с UHF-диапазоном обеспечивает более стабильную и надежную связь, что жизненно важно для поддержания постоянной передачи данных во время полетов CubeSat. Это инновационное решение не только расширяет возможности спутника CubeSat для выполнения сложных задач дистанционного зондирования, но и упрощает управление ориентацией, снижает энергопотребление и позволяет избежать оптического затенения. Благодаря такой интеграции антенны и камеры предлагаемая система в полной мере использует ограниченную площадь поверхности спутника CubeSat, сохраняя при этом высокую производительность. Эти особенности делают антенную систему очень подходящей для современных приложений дистанционного зондирования, где надежность, полоса пропускания и стабильность имеют первостепенное значение. В результате этот подход представляет собой ценный вклад в технологию CubeSat, предлагая практичное и масштабируемое решение для будущих миссий по наблюдению Земли и других приложений на базе CubeSat.

References

- Abulgasem S., Tubbal F., Raad R., Theoharis P.I., Lu S., Iranmanesh S. (2021) Antenna Designs for CubeSats: A Review. *IEEE Access*. — Vol. 9. — P. 45289-45324, <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3066632>. (in English)
- Balanis C. A. (2024) The Evolution of Antenna Technology: Yagi-Uda, Helix, and Log-Periodic Antennas. *IEEE Antennas and Propagation Magazine*. — Vol. 66. — No. 5. — P. 31-39, <https://doi.org/10.1109/MAP.2024.3428924>. (in English)
- Buttazoni G., Comisso M., Cuttin A., Fragiaco M., Vescovo R., Vincenti Gatti R. (2017) Reconfigurable phased antenna array for extending CubeSat operations to Ka-band: design and feasibility. *Acta Astronautica*. — Vol. 137. ISSN 0094-5765. — P. 114-121, <https://doi.org/10.1016/j.actaastro.2017.04.012>. (in English)
- Cappelletti Chantal, Battistini Simone, Malphrus Benjamin K. (2021) CubeSat missions and applications. *Cubesat Handbook*, Academic Press. ISBN 978-0-12-817884-3. — P. 53-65, <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-817884-3.00002-3>. (in English)
- García-Sánchez Enrique Rafael, Candia-García Filiberto, Contreras- Lima Joel. (2024) Agile Stage-Gate Approach for Design, Integration, and Testing of a 1U CubeSat. *Aerospace*, MDPI. — Vol. 11. — No. 4. — 324 p. <https://doi.org/10.3390/aerospace11040324>. (in English)

GomSpace. Nanocam C1U. Datasheet. Camera Payload for nano-satellites [Electronic resource]. — 2018. — Mode of access: <https://gomspace.com/UserFiles/Subsystems/datasheet/gs-ds-nanocam-c1u-17.pdf>. — Title from the screen. — Access free. (in English)

Jiménez D. A., Reyna A., Balderas L. I., Panduro M. A. (2023) Design of 4×4 Low-Profile Antenna Array for CubeSat Applications. *Micromachines*. — Vol. 14. — No. 1. — 180 p., <https://doi.org/10.3390/mi14010180>. (in English)

Johnson A. D., Caripidis J. A., Venkatakrishnan S. B., Ali M., Volakis J. L. (2020) Deployable Inverted-Hat Monopole With 3:1 Constant Gain Bandwidth// *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*. — Vol. 19. — No. 6. — P. 935-938, <https://doi.org/10.1109/LAWP.2020.2983746>. (in English)

Khurshid K., Mahmood R., ul Islam Q. (2013) A survey of camera modules for CubeSats - Design of imaging payload of ICUBE-1. 2013 6th International Conference on Recent Advances in Space Technologies (RAST), Istanbul, Turkey. — P. 875-879, <https://doi.org/10.1109/RAST.2013.6581337>. (in English)

Le Moigne J., Adams J. C., Nag S. (2020) A New Taxonomy for Distributed Spacecraft Missions // *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*. — Vol. 13. — P. 872-883, <https://doi.org/10.1109/JSTARS.2020.2964248>. (in English)

Liu S., Theoharis P. I., Raad R., Tubbal F., Theoharis A., Iranmanesh S., Matekovits L. (2022) A Survey on CubeSat Missions and Their Antenna Designs // *Electronics*. — Vol. 11. — No. 13. — P. 2021, <https://doi.org/10.3390/electronics11132021>. (in English)

Maciel D. A., Novo E. M. L. D. M., Barbosa C. C. F., Martins V. S., Flores Júnior R., Oliveira A. H., Lobo, F. D. L. (2019) Evaluating the potential of CubeSats for remote sensing reflectance retrieval over inland waters. *International Journal of Remote Sensing*. — Vol. 41. — No. 7. — P. 2807-2817. <https://doi.org/10.1080/2150704X.2019.1697003>. (in English)

Meirambekuly N. et al, (2023) A High Gain Deployable L/S Band Conical Helix Antenna Integrated With Optical System for Earth Observation CubeSats. *IEEE Access*. — Vol. 11. — P. 23097-23106, <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2023.3253556>. (in English)

Pakartipangi W., Syihabuddin B., Darlis D. (2015) Design of camera array interface using FPGA for nanosatellite remote sensing payload. *International Conference on Radar, Antenna, Microwave, Electronics and Telecommunications (ICRAMET)*, Bandung, Indonesia. — P. 119-123, <https://doi.org/10.1109/ICRAMET.2015.7380786>. (in English)

Rothammel Karl. (2013) Rothammels Antennenbuch// 13th edition, DARC Verlag, Baunatal, Germany. ISBN: 978-3-88692-065-5. (in German)

Saeed N., Elzanaty A., Almorad H., Dahrouj H., Al-Naffouri T.Y., Alouini M.-S. (2020) CubeSat Communications: Recent Advances and Future Challenges. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*. — Vol. 22. — No. 3. — P. 1839-1862, <https://doi.org/10.1109/COMST.2020.2990499>. (in English)

Samsuzzaman M., Islam M. T., Kibria S., Cho M. (2018) BIRDS-1 CubeSat Constellation Using Compact UHF Patch Antenna// *IEEE Access*. — Vol. 6. — P. 54282-54294, <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2018.2871209>. (in English)

Shiroma W., Martin L., Akagi J., Wolfe B., Fewell B., Ohta A. (2011) CubeSats: A Bright Future for Nanosatellites. *Open Engineering*. — Vol. 1. — No. 1. — P. 9-15, <https://doi.org/10.2478/s13531-011-0007-8>. (in English)

Wang Hailu, Zhao Junsuo, Wu Fengge. (2017) Design of High-Resolution Space Imaging System on Sandroid CubeSat using camera array// 51st Annual Conference on Information Sciences and Systems (CISS), Baltimore, MD. — P. 1-6, <https://doi.org/10.1109/CISS.2017.7926095>. (in English)

Zhang X., Sun F., Zhang G., Hou L. (2020) Compact UHF/VHF Monopole Antennas for CubeSats Applications. *IEEE Access*. — Vol. 8. — P. 133360-133366, <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3008540>. (in English)

**Publication Ethics and Publication Malpractice in
the journals of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan**

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 National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan 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 National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan 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 National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan.

The Editorial Board of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan will monitor and safeguard publishing ethics.

Правила оформления статьи для публикации в журнале смотреть на сайтах:

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

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

ISSN 2518-1726 (Online),

ISSN 1991-346X (Print)

Директор отдела издания научных журналов НАН РК *А. Ботанқызы*

Редакторы: *Д.С. Аленов, Ж.Ш. Әден*

Верстка на компьютере *Г.Д. Жадыранова*

Подписано в печать 20.06.2025.

Формат 60x881/8. Бумага офсетная. Печать – ризограф.

20,0 п.л. Заказ 2.