

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

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ
ҰЛТТЫҚ ҒЫЛЫМ АКАДЕМИЯСЫ

әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университетінің

Х А Б А Р Л А Р Ы

ИЗВЕСТИЯ

НАЦИОНАЛЬНОЙ АКАДЕМИИ НАУК
РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН
Қазақстан Республикасының Ғылым Академиясы
Қазақ ұлттық университетінің
әл-Фараби атындағы

NEWS

OF THE ACADEMY OF SCIENCES
OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN
al-Farabi Kazakh National University

SERIES
PHYSICO-MATHEMATICAL

5 (339)

SEPTEMBER – OKTOBER 2021

PUBLISHED SINCE JANUARY 1963

PUBLISHED 6 TIMES A YEAR

ALMATY, NAS RK

NAS RK is pleased to announce that News of NAS RK. Series physico-mathematical journal has been accepted for indexing in the Emerging Sources Citation Index, a new edition of Web of Science. Content in this index is under consideration by Clarivate Analytics to be accepted in the Science Citation Index Expanded, the Social Sciences Citation Index, and the Arts & Humanities Citation Index. The quality and depth of content Web of Science offers to researchers, authors, publishers, and institutions sets it apart from other research databases. The inclusion of News of NAS RK. Series of chemistry and technologies in the Emerging Sources Citation Index demonstrates our dedication to providing the most relevant and influential content of chemical sciences to our community.

Қазақстан Республикасы Ұлттық ғылым академиясы «ҚР ҰҒА Хабарлары. Физикалық-математикалық сериясы» ғылыми журналының Web of Science-тің жаңаланған нұсқасы Emerging Sources Citation Index-те индекстелуге қабылданғанын хабарлайды. Бұл индекстелу барысында Clarivate Analytics компаниясы журналды одан әрі the Science Citation Index Expanded, the Social Sciences Citation Index және the Arts & Humanities Citation Index-ке қабылдау мәселесін қарастыруда. Web of Science зерттеушілер, авторлар, баспашылар мен мекемелерге контент тереңдігі мен сапасын ұсынады. ҚР ҰҒА Хабарлары. Химия және технология сериясы Emerging Sources Citation Index-ке енуі біздің қоғамдастық үшін ең өзекті және беделді химиялық ғылымдар бойынша контентке адалдығымызды білдіреді.

НАН РК сообщает, что научный журнал «Известия НАН РК. Серия физико-математическая» был принят для индексирования в Emerging Sources Citation Index, обновленной версии Web of Science. Содержание в этом индексировании находится в стадии рассмотрения компанией Clarivate Analytics для дальнейшего принятия журнала в the Science Citation Index Expanded, the Social Sciences Citation Index и the Arts & Humanities Citation Index. Web of Science предлагает качество и глубину контента для исследователей, авторов, издателей и учреждений. Включение Известия НАН РК в Emerging Sources Citation Index демонстрирует нашу приверженность к наиболее актуальному и влиятельному контенту по химическим наукам для нашего сообщества.

Бас редактор:

МҰТАНОВ Ғалымқайыр Мұтанұлы, техника ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі, ҚР БҒМ ҒК «Ақпараттық және есептеу технологиялары институты» бас директорының м.а. (Алматы, Қазақстан) Н=5

Редакция алқасы:

ҚАЛИМОЛДАЕВ Мақсат Нұрәділұлы (бас редактордың орынбасары), физика-математика ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі, ҚР БҒМ ҒК «Ақпараттық және есептеу технологиялары институты» бас директорының кеңесшісі, зертхана меңгерушісі (Алматы, Қазақстан) Н=7

БАЙГУНЧЕКОВ Жұмаділ Жанабайұлы (бас редактордың орынбасары), техника ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі, Кибернетика және ақпараттық технологиялар институты, Сағпаев университетінің Қолданбалы механика және инженерлік графика кафедрасы, (Алматы, Қазақстан) Н=3

ВОЙЧИК Вальдемар, техника ғылымдарының докторы (физика), Люблин технологиялық университетінің профессоры (Люблин, Польша) Н=23

БОШКАЕВ Қуантай Авғазыұлы, Ph.D. Теориялық және ядролық физика кафедрасының доценті, әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті (Алматы, Қазақстан) Н-10

QUEVEDO Hemando, профессор, Ядролық ғылымдар институты (Мехико, Мексика) Н=28

ЖҮСПОВ Марат Абжанұлы, физика-математика ғылымдарының докторы, теориялық және ядролық физика кафедрасының профессоры, әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті (Алматы, Қазақстан) Н=7

КОВАЛЕВ Александр Михайлович, физика-математика ғылымдарының докторы, Украина ҰҒА академигі, Қолданбалы математика және механика институты (Донецк, Украина) Н=5

МИХАЛЕВИЧ Александр Александрович, техника ғылымдарының докторы, профессор, Беларусь ҰҒА академигі (Минск, Беларусь) Н=2

РАМАЗАНОВ Тілекқабыл Сәбитұлы, физика-математика ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі, әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университетінің ғылыми-инновациялық қызмет жөніндегі проректоры, (Алматы, Қазақстан) Н=26

ТАКИБАЕВ Нұрғали Жабағаұлы, физика-математика ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі, әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті (Алматы, Қазақстан) Н=5

ТИГИНЯНУ Ион Михайлович, физика-математика ғылымдарының докторы, академик, Молдова ғылым Академиясының президенті, Молдова техникалық университеті (Кишинев, Молдова) Н=42

ХАРИН Станислав Николаевич, физика-математика ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі, Қазақстан-Британ техникалық университеті (Алматы, Қазақстан) Н=10

ДАВЛЕТОВ Асқар Ербуланович, физика-математика ғылымдарының докторы, профессор, әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті (Алматы, Қазақстан) Н=12

КАЛАНДРА Пьетро, Ph.D (физика), Наноқұрылымды материалдарды зерттеу институтының профессоры (Рим, Италия) Н=26

«ҚР ҰҒА Хабарлары.

Физика-математикалық сериясы».

ISSN 2518-1726 (Online),

ISSN 1991-346X (Print)

Меншіктеуші: «Қазақстан Республикасының Ұлттық ғылым академиясы» РҚБ (Алматы қ.). Қазақстан Республикасының Ақпарат және қоғамдық даму министрлігінің Ақпарат комитетінде 14.02.2018 ж. берілген **№ 16906-Ж** мерзімдік басылым тіркеуіне қойылу туралы куәлік.

Тақырыптық бағыты: *математика, информатика, механика, физика, ғарыштық зерттеулер, астрономия, ионосфера.*

Мерзімділігі: жылына 6 рет.

Тиражы: 300 дана.

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, 2021

Типографияның мекен-жайы: «Аруна» ЖК, Алматы қ., Мұратбаев көш., 75.

Главный редактор:

МУТАНОВ Галимкаир Мутанович, доктор технических наук, профессор, академик НАН РК, и.о. генерального директора «Института информационных и вычислительных технологий» КН МОН РК (Алматы, Казахстан) Н=5

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 МОН РК, заведующий лабораторией (Алматы, Казахстан) Н=7

БАЙГУНЧЕКОВ Жумадил Жанабаевич, (заместитель главного редактора), доктор технических наук, профессор, академик НАН РК, Институт кибернетики и информационных технологий, кафедра прикладной механики и инженерной графики, университет Сатпаева (Алматы, Казахстан) Н=3

ВОЙЧИК Вальдемар, доктор технических наук (физ.-мат.), профессор Люблинского технологического университета (Люблин, Польша) Н=23

БОШКАЕВ Куантай Авгазыевич, доктор Ph.D, преподаватель, доцент кафедры теоретической и ядерной физики, Казахский национальный университет им. аль-Фараби (Алматы, Казахстан) Н=10

QUEVEDO Hemando, профессор, Национальный автономный университет Мексики (UNAM), Институт ядерных наук (Мехико, Мексика) Н=28

ЖУСУПОВ Марат Абжанович, доктор физико-математических наук, профессор кафедры теоретической и ядерной физики, Казахский национальный университет им. аль-Фараби (Алматы, Казахстан) Н=7

КОВАЛЕВ Александр Михайлович, доктор физико-математических наук, академик НАН Украины, Институт прикладной математики и механики (Донецк, Украина) Н=5

МИХАЛЕВИЧ Александр Александрович, доктор технических наук, профессор, академик НАН Беларуси (Минск, Беларусь) Н=2

РАМАЗАНОВ Тлеккабул Сабитович, доктор физико-математических наук, профессор, академик НАН РК, проректор по научно-инновационной деятельности, Казахский национальный университет им. аль-Фараби (Алматы, Казахстан) Н=26

ТАКИБАЕВ Нургали Жабагаевич, доктор физико-математических наук, профессор, академик НАН РК, Казахский национальный университет им. аль-Фараби (Алматы, Казахстан) Н=5

ТИГИНЯНУ Ион Михайлович, доктор физико-математических наук, академик, президент Академии наук Молдовы, Технический университет Молдовы (Кишинев, Молдова) Н=42

ХАРИН Станислав Николаевич, доктор физико-математических наук, профессор, академик НАН РК, Казахстанско-Британский технический университет (Алматы, Казахстан) Н=10

ДАВЛЕТОВ Аскар Ербуланович, доктор физико-математических наук, профессор, Казахский национальный университет им. аль-Фараби (Алматы, Казахстан) Н=12

КАЛАНДРА Пьетро, доктор философии (Ph.D, физика), профессор Института по изучению наноструктурированных материалов (Рим, Италия) Н=26

«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 учет периодического печатного издания в Комитете информации Министерства информации и общественного развития Республики Казахстан № 16906-Ж выданное 14.02.2018 г.

Тематическая направленность: *математика, информатика, механика, физика, космические исследования, астрономия, ионосфера.*

Периодичность: 6 раз в год.

Тираж: 300 экземпляров.

Адрес редакции: 050010, г. Алматы, ул. Шевченко, 28, оф. 219, тел.: 272-13-19

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

© Национальная академия наук Республики Казахстан, 2021

Адрес типографии: ИП «Аруна», г. Алматы, ул. Муратбаева, 75.

Editor in chief:

MUTANOV Galimkair Mutanovich, doctor of technical Sciences, Professor, Academician of NAS RK, acting director of the Institute of Information and Computing Technologies of SC MES RK (Almaty, Kazakhstan) H=5

Editorial board:

KALIMOLDAYEV Maksat Nuradilovich (Deputy Editor-in-Chief), doctor in Physics and Mathematics, Professor, Academician of NAS RK, Advisor to the General Director of the Institute of Information and Computing Technologies of SC MES RK, Head of the Laboratory (Almaty, Kazakhstan) H=7

BAYGUNCHEKOV Zhumadil Zhanabayevich, (Deputy Editor-in-Chief), 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) H=3

WOICIK Waldemar, Doctor of Phys.-Math. Sciences, Professor, Lublin University of Technology (Lublin, Poland) H=23

BOSHKAYEV Kuantai Avgazievich, PhD, Lecturer, Associate Professor of the Department of Theoretical and Nuclear Physics, Al-Farabi Kazakh National University (Almaty, Kazakhstan) H=10

QUEVEDO Hemando, Professor, National Autonomous University of Mexico (UNAM), Institute of Nuclear Sciences (Mexico City, Mexico) H=28

ZHUSSUPOV Marat Abzhanovich, Doctor in Physics and Mathematics, Professor of the Department of Theoretical and Nuclear Physics, al-Farabi Kazakh National University (Almaty, Kazakhstan) H=7

KOVALEV Alexander Mikhailovich, Doctor in Physics and Mathematics, Academician of NAS of Ukraine, Director of the State Institution «Institute of Applied Mathematics and Mechanics» DPR (Donetsk, Ukraine) H=5

MIKHALEVICH Alexander Alexandrovich, Doctor of Technical Sciences, Professor, Academician of NAS of Belarus (Minsk, Belarus) H=2

RAMAZANOV Tlekkabul Sabitovich, Doctor in Physics and Mathematics, Professor, Academician of NAS RK, Vice-Rector for Scientific and Innovative Activity, al-Farabi Kazakh National University (Almaty, Kazakhstan) H=26

TAKIBAYEV Nurgali Zhabagaevich, Doctor in Physics and Mathematics, Professor, Academician of NAS RK, al-Farabi Kazakh National University (Almaty, Kazakhstan) H=5

TIGHINEANU Ion Mikhailovich, Doctor in Physics and Mathematics, Academician, Full Member of the Academy of Sciences of Moldova, President of the AS of Moldova, Technical University of Moldova (Chisinau, Moldova) H=42

KHARIN Stanislav Nikolayevich, Doctor in Physics and Mathematics, Professor, Academician of NAS RK, Kazakh-British Technical University (Almaty, Kazakhstan) H=10

DAVLETOV Askar Erbulanovich, Doctor in Physics and Mathematics, Professor, al-Farabi Kazakh National University (Almaty, Kazakhstan) H=12

CALANDRA Pietro, PhD in Physics, Professor at the Institute of Nanostructured Materials (Monterotondo Station Rome, Italy) H=26

News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. Physical-mathematical series.
ISSN 2518-1726 (Online),
ISSN 1991-346X (Print)

Owner: RPA «National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan» (Almaty). The certificate of registration of a periodical printed publication in the Committee of information of the Ministry of Information and Social Development of the Republic of Kazakhstan No. 16906-Ж, issued 14.02.2018

Thematic scope: *mathematics, computer science, mechanics, physics, space research, astronomy, ionosphere.*

Periodicity: 6 times a year.

Circulation: 300 copies.

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

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

NEWS

OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

PHYSICO-MATHEMATICAL SERIES

ISSN 1991-346X

Volume 5, Number 339 (2021), 42–53

<https://doi.org/10.32014/2021.2518-1726.83>

УДК 621.396.677

Мейрамбекұлы Н.*, Карибаев Б.А., Темирбаев А.А.

Казахский национальный университет имени аль-Фараби, Алматы, Казахстан.

E-mail: nurs.kaznu@gmail.com

**МНОГОДИАПАЗОННАЯ АНТЕННА НА БАЗЕ ВТОРОГО ПОКОЛЕНИЯ
АНИЗОТРОПНОГО ФРАКТАЛА ДЛЯ МАЛЫХ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ
ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ И НАБЛЮДЕНИЯ ЗЕМЛИ**

Аннотация. В данной статье представлена многодиапазонная патч-антенна, интегрированная сооптической системой формирования изображений, на основе второго поколения анизотропного фрактала для наноспутников стандарта CubeSat дистанционного зондирования и наблюдения Земли. Антенна работает на широко используемых в космической технике частотных полосах S- и X- диапазонов, передающий сигналы по направлениям космос-Земля и Земля-космос. Размер и геометрия антенны выбран соответствующий торцевой стороне наноспутников стандарта CubeSat. Антенна крепится на 100 мм × 100 мм сторону космического аппарата (КА) и интегрируется с оптикой системы съемки поверхности земли, через отверстие в ней. Данная особенность призвана упростить работу всей системы, увеличить поверхность используемых для генерации солнечной энергии, тем самым повысив ее энергетическую безопасность. Основные характеристики антенны исследованы с помощью моделирования в программной среде Computer Simulation Technology (CST) Microwave studio, с использованием максимально доступных материалов. В результате исследования антенны обнаружены четыре резонанса в частотных диапазонах Си X, позволяющий говорить о многодиапазонности антенны. Коэффициент отражения в резонансных частотах 2,03 ГГц, 2,45 ГГц, 4,3 ГГц и 8,5 ГГц намного ниже -10 дБ, а коэффициент стоячей волны по напряжению (КСВН) ниже значения 2. Достигнута максимальные значения коэффициента усиления (КУ) 2,3 дБ в S-диапазоне и 6,2 дБ в X-диапазоне.

Ключевые слова: антенна, CubeSat, наблюдение Земли, анизотропный фрактал, многодиапазонная антенна, наноспутник.

Введение. Современное состояние и развития электронных средств, технологий и новых видов материалов позволяет существенно уменьшить массогабаритные и энергетические характеристики систем и устройств, применяемых в космических аппаратах (КА). В связи с этим в последние годы на космическом рынке появились более эффективные, имеющие малые массы и объемы – малые космические аппараты (МКА). Среди МКА наноспутники формата Cube Sat занимает особое место. Они применяются для разных задач: радиосвязь, в метеорологических целях, мониторинг миграций животных, биологическое, геофизическое исследования, астрономические наблюдения, дистанционные зондирования Земли (ДЗЗ) и др.

Одним из наиболее важных составляющих устройств МКА является система приема/передачи данных, неотъемлемой частью которой является антенна. Антенны Cube Sat выполняют те же функции, что и антенны на обычных спутниках, такие как телеметрия, отслеживание и управление (Telemetry, Tracking and Control, сокр. TT & C), связь, навигация и межспутниковые связи (Inter-Satellite Links, сокр. ISL). Однако большинство традиционных антенн для малых спутников не подходят для CubeSat из-за ограниченных размеров аппарата, так как стандарт 1U имеет размер 10 см × 10 см × 10 см. Поэтому эффективное использование площади в поверхности CubeSat имеет большое значение.

При КазНУ имени аль-Фараби действует центр космической техники и технологий на базе, которого созданы и успешно запущены наноспутники аль-Фараби-1 и аль-Фараби-2. Миссией данных

наноспутников является обучение и создание базы для развития космической технологий в Казахстане. Аль-Фараби-1 – наноспутник стандарта Cube Sat 2U, состоящей из подсистем энергообеспечения, бортового компьютера, полудуплексного приема-передающего устройства и антенны ультра – коротко – волнового (УКВ)диапазона. Аль-Фараби-2 – наноспутник стандарта CubeSat 1U, содержащий множество датчиков, показывающий состояние системы на борту космического аппарата и с несколькими интересными миссиями. Прием и передача сигналов осуществляется в УКВ-диапазоне.

В настоящее время существующие МКА используют разные виды антенн в зависимости от эффективности параметров и специфики самого КА. Значительное количество спутников CubeSat, которые в настоящее время эксплуатируются в космическом пространстве из-за своей простоты используют проволочные антенны [1-4]. Эти антенны (диполь, монополь, спиральные антенны и антенные решетки на базе этих элементов) обычно размещаются на внешней стороне КА. Во время полета проволочные антенны часто складываются к корпусу и разворачиваются после выхода на орбиту. В основном они применяются в высокочастотных (ВЧ), очень высокочастотных (ОВЧ) и ультравысоких (УВЧ) приложениях, где длины волны намного превышают габариты CubeSat. В свою очередь это создает дополнительные сложности для получения антенны с хорошей эффективностью излучения в небольшом объеме.

Рефлекторные антенны особо отличаются с высоким коэффициентом усиления среди используемых антенн для МКА. В работах [5-9] рассмотрены и исследованы разворачиваемые отражающие антенные для частотных диапазонов S, X и Ka. Во многих случаях при разворачивании отражателя используется поверхность из металлической сетки, натянутая между дискретным количеством параболических ребер, позволяющие разместить его в небольшом объеме. Несмотря на высокую эффективность, рефлекторные антенны имеют относительно сложную механическую конструкцию.

В последние годы особый интерес разработчиков антенн для МКА вызывают мембранные антенны [10-13]. В [14] обсуждается конструкция мембранной антенны S-диапазона, которая может обеспечить усиление 30,5 дБ. Наряду с этим надувные антенны также рассматриваются как разновидность мембранной антенны [15-16]. Основная идея разработки таких антенн заключается в том, что антенны реализуются на ткане подобном материале и это позволяет их сложить в маленьком объеме от 0,6U до 2U. На поверхности гибкого материала можно разместить полосковые антенные решетки по размеру несколько раз превышавшие МКА.

Вышерассмотренные виды антенн обладают достаточно хорошими частотными, электрическими характеристиками, особенно направленными свойствами. Однако необходимость в дополнительных механических, программных действиях и ресурсах увеличивает вероятность отказа миссии наноспутника. В этом аспекте микрополосковые антенны (патч) представляют определенные преимущества: при изготовлении используется достаточно простая технология, имеют относительно малую стоимость, способны излучать и принимать электромагнитные волны с линейной, круговой и эллиптической поляризацией, позволяют легко разместить на поверхности сложные формы, обладают стабильными аэродинамическими, механическими и температурными характеристиками, а также во время запуска или после выхода на орбиту не требуют дополнительных механических действий.

Для высокоскоростной передачи данных систем наблюдения Земли в основном используются патч-антенны. Для этих целей используются полосы для работы в космосе (2025 – 2110 МГц), космических исследований (2200 – 2290 МГц, 2290 – 2300 МГц), любительской спутниковой службы (2400 – 2450 МГц) и фиксированная спутниковая связь (Земля-космос) (8215-8500 МГц) [17].

В МКА ДЗЗ, работающих в нескольких частотных диапазонах, нередко используются многодиапазонные или широкополосные антенные системы, покрывающие необходимые полосы работ. Данные характеристики антенны достигаются изменениями в геометрии антенны, в том числе фрактальной геометрией, вырезами разных фигур в излучателе или в плоскости заземления. В работе [18] предложена новая структура звездобразной фрактальной антенны для работы в L- и S- диапазонах. Геометрическая форма данной антенны начинается с двух проводящих квадратов, образующих восьмиугольную звезду. В работе [19] описывается многодиапазонная миниатюрная фрактальная микрополосковая антенна с высоким коэффициентом усиления для современных систем связи. В предлагаемой конструкции гексагональная прокладка Серпинского загружена на квадратную микрополосковую антенну. В работе [20] предлагается компактная щелевая антенна (КЩА) для двухдиапазонной сверх широкополосной связи (СШП), интегрированная с приложениями Ku-диапазона. Базовая КЩА с измененной структурой земли используется для получения относительной ширины полосы 137% (3,45–18,45 ГГц). Двойной частоты с исключенной полосой достигаются за

счет сквозного отверстия для устранения частот от 5,39 до 5,90 ГГц (верхняя полоса WLAN) и за счет использования симметричных перевернутых L-образных паразитных элементов для вырезания частот от 7,30 до 7,75 ГГц (нисходящая линия спутниковой линии связи X-диапазона). В работе [21] предложена компактная равносторонняя треугольная кольцевая антенна для микроспутника. Представленная антенна использует усечение, возмущение и щели для генерации операции широкополосной круговой поляризации на основе унаследованной линейной поляризации.

В данной работе рассматривается S и X диапазонные патч-антенны на основе анизотропного фрактала с оптимальным методом расположения для наноспутников CubeSat системы ДЗЗ. Для миниатюризации антенны использовалась вторая итерация геометрического фрактала Жанабаева (ЖФ) [22]. Анизотропная структура данного фрактала позволила получить многодиапазонную патч-антенну, резонирующая в S (2-4 ГГц) и X (8-12 ГГц) диапазонах. Главная особенность рассматриваемой концепции является то, что излучающая плоскость патч антенны и оптическая, бортовая съемочная аппаратура находятся на одной стороне МКА. Такая интеграция систем в одной поверхности обусловлена тем, что при зондировании Земли съемка производится постоянно и сторона оптической камеры должна направляться в сторону Земли, а антенны, установленные на боковых или задних сторонах, не могут обеспечить необходимую направленность антенны.

Отсюда возникает необходимость интегрирования оптической и антенной систем в одной поверхности.

Похожая концепция была представлена в работе [23]. Однако антенна, рассмотренная в этой работе, имеет относительно сложную технологию изготовления, схемы суммирования четырех патчей и многослойную структуру подложки.

Основные характеристики предложенной антенны на основе ЖФ первой иерархии исследованы авторами в работе [24].

Антенна МКА стандарта Cube Sat S- и X-диапазонов требуют разработки небольших размеров, с высоким коэффициентом усиления антенн.

Материалы и методы. Предложенная антенна предназначена для МКА дистанционного зондирования и наблюдения Земли. Излучающая часть антенны основана на втором поколении ЖФ.

Фрактал Жанабаева называется “анизотропным” из-за того, что в отличие от многочисленных известных нам фрактальных геометрии, она развивается только во одном направлении, то есть неравномерно (рис.1) [24].

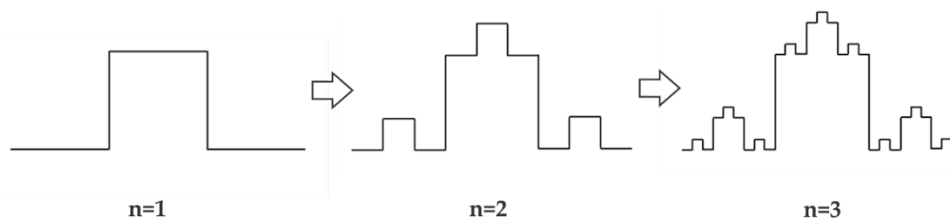


Рисунок 1. Развитие геометрии ЖФ, номер предфракталов $n = 1, 2, 3$.

На рисунке 2 показано формирование излучающей части предложенной антенны, состоящей из четырех этапов. На первом этапе берется квадратный патч размером $2 \times L$. На втором этапе по центру данного патча делается вырез в форме квадрата с длиной сторон L . На двух финальных этапах каждая из сторон внутреннего квадрата деформируется согласно теории ЖФ.

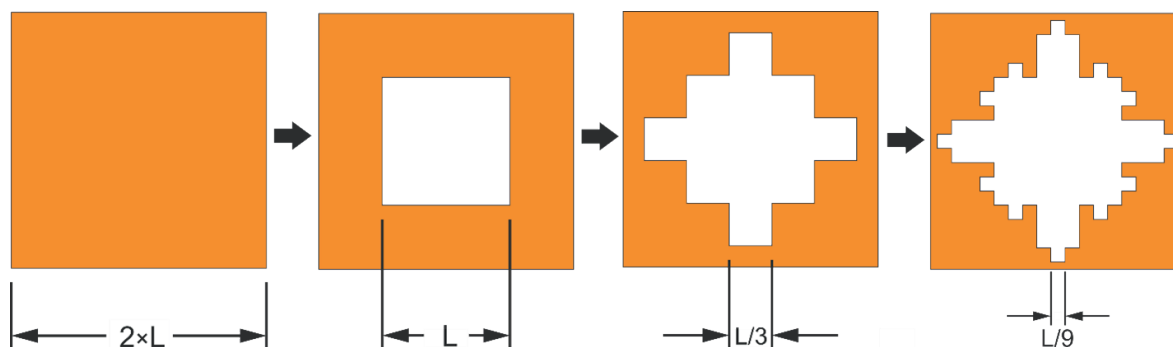


Рисунок 2. Формирование излучающей части предложенной антенны.

В качестве подложки антенны использован материал стеклотекстолит FR-4 ($\epsilon_r=4.3$). Материал изучающей части и плоскости земли – медь.

Предложенная антенна имеет габаритные размеры 100 мм × 100 мм × 3 мм, что соответствует стандарту Cube Sat. В центре антенны имеется круглое отверстие диаметром 36 мм для интеграции с оптической системой формирования изображений и вырезы размером 9 мм × 9 мм по четырем углам, соответствующие корпусу наноспутника (рис. 3).

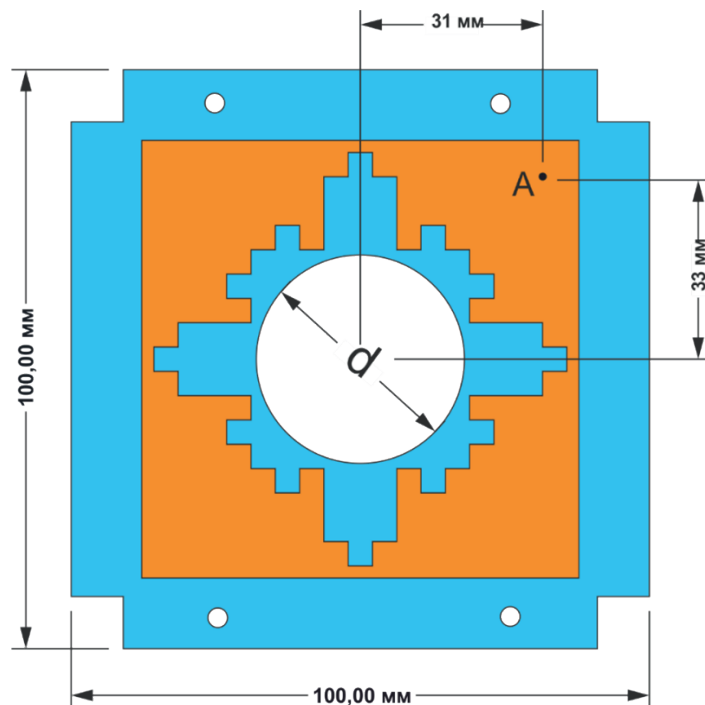


Рисунок 3. Модель антенны.

Расположение питающей точки A: $x = 31$ мм, $y = 33$ мм (рис. 3). В качестве порта использован SMAженский прямого расположения.

Для расчета резонансных частот f , использована формула [25]:

$$f = \frac{c}{2L\sqrt{\frac{\epsilon_r + 1}{2}}}, \quad (1)$$

где, L – основные размеры излучателя, c – скорость света, ϵ_r – диэлектрическая проницаемость подложки.

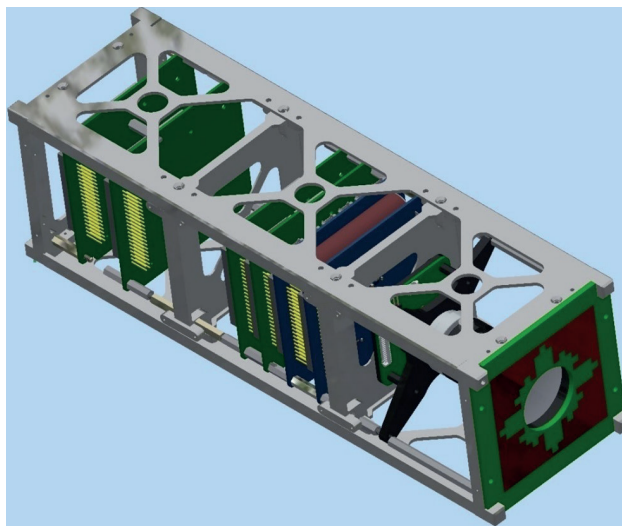


Рисунок 4. Модель наноспутника с установленной антенной.

Как показано на рисунке 4, предлагаемая антенна располагается на одной плоскости с оптической системой, формируя систему.

Основные размеры антенны показаны в таблице 1.

Таблица 1. Основные размеры антенны

Параметры	величина (мм)
L	37
2×L	74
d	36
h	3

Согласно таблице 1, длина основного размера антенны $L = 37$ мм. Внешний размер патча – 74 мм, высота подложки $h = 3$ мм.

Результаты и обсуждения. В этом разделе показаны результаты моделирования основных характеристик антенны, полученные с помощью пакета CST Microwave Studio.

На рисунке 5 показаны результаты коэффициента отражения антенны. В диапазоне 0-10 ГГц антенна имеет четыре резонанса с центральными частотами 2,03 ГГц, 2,45 ГГц, 4,3 ГГц и 8,5 ГГц, где коэффициент отражения намного ниже -10 дБ. На первой резонансной частоте достигнута полоса импеданса -10 дБ – 40 МГц (2015 МГц-2055 МГц), минимальный коэффициент отражения -13,6 дБ. На втором резонансе с центральной частотой 2,45 ГГц полоса импеданса -10 дБ равняется 71 МГц (2426 МГц – 2497 МГц), минимальный коэффициент отражения -12 дБ.

На третьей резонансной частоте - 4,3 ГГц ширина полосы импеданса -10 дБ – 150 МГц (4237 МГц – 4387 МГц), минимальный показатель коэффициента отражения -15 дБ. На последней резонансной частоте в X-диапазоне достигнута полоса импеданса -10 дБ – 308 МГц (8383 МГц – 8691 МГц).

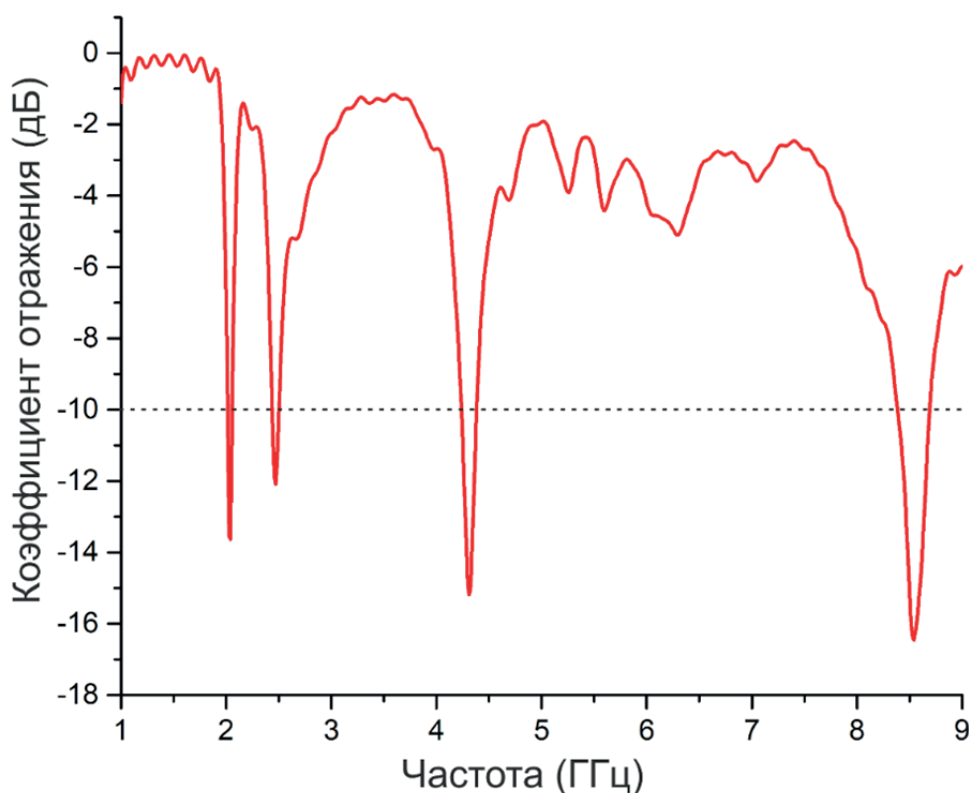


Рисунок 5. Коэффициент отражения антенны.

На рисунке 6 показана коэффициент стоячей волны по напряжению (КСВН). Согласно рисунку на резонансных частотах антенна имеет КСВН ниже 2, что показывает работоспособность антенны в данных частотах.

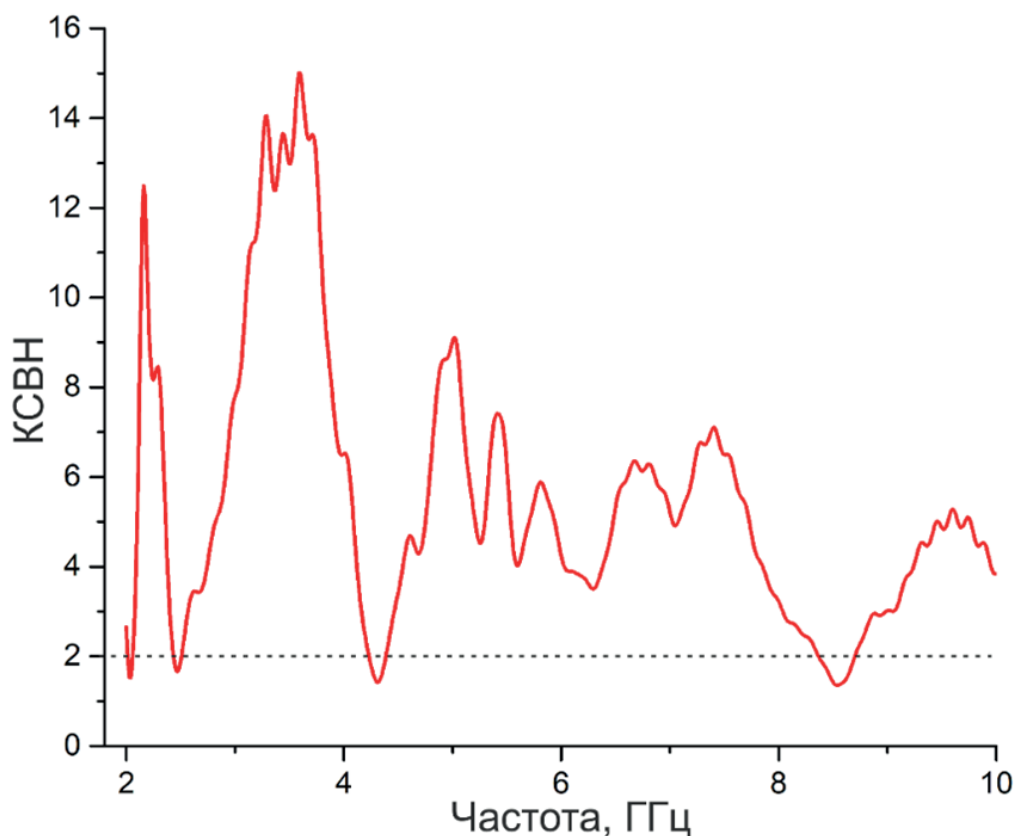


Рисунок 6. КСВН антенны.

На рисунке 7 показаны двумерные диаграммы направленности антенны на частотах 2,03 ГГц и 2,45 ГГц. На частоте 2,03 ГГц антенна имеет диаграмму направленности “грушеобразной” формы. На частоте 2,45 ГГц диаграмма направленности изменяет формы – принимая вид, напоминающий “яблоко”. Данные формы диаграмм обусловлены геометрией антенны, направлением течения поверхностных токов антенны.

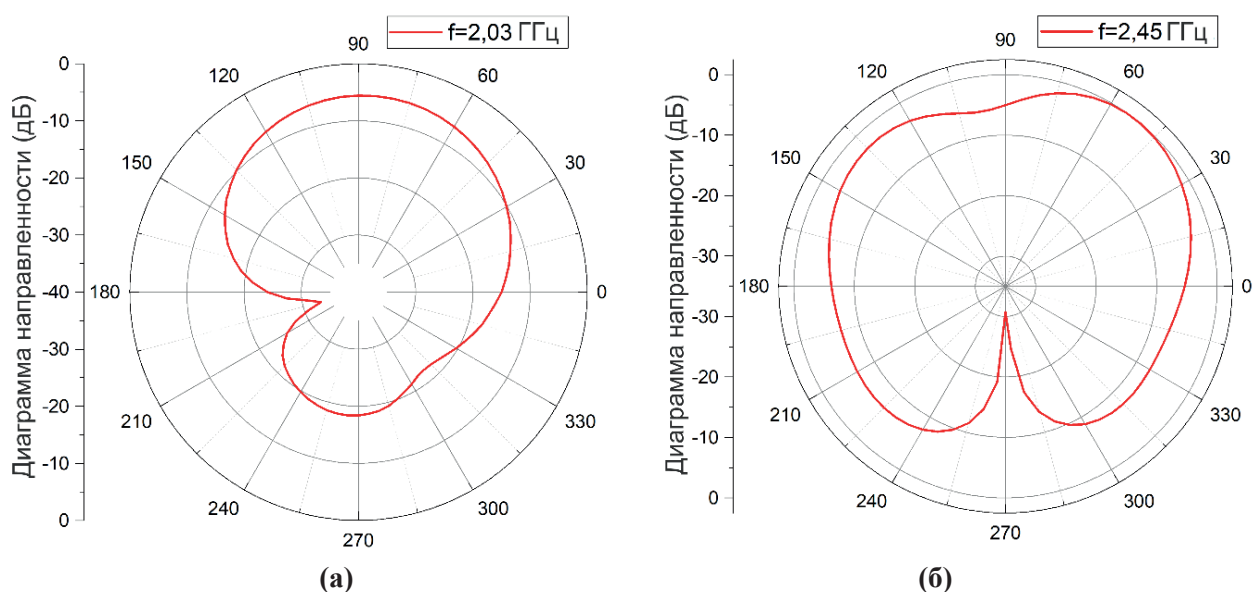


Рисунок 7. Двумерные диаграммы направленности антенны на частотах 2,03 ГГц (а) и 2,45 ГГц (б).

На рисунке 8 показаны двумерные диаграммы направленности антенны на частотах 4,3 ГГц и 8,5 ГГц. На частоте 4,3 ГГц антенна имеет почти всенаправленную диаграмму направленности. При этом на частоте 8,5 ГГц антенна имеет более узконаправленные характеристики.

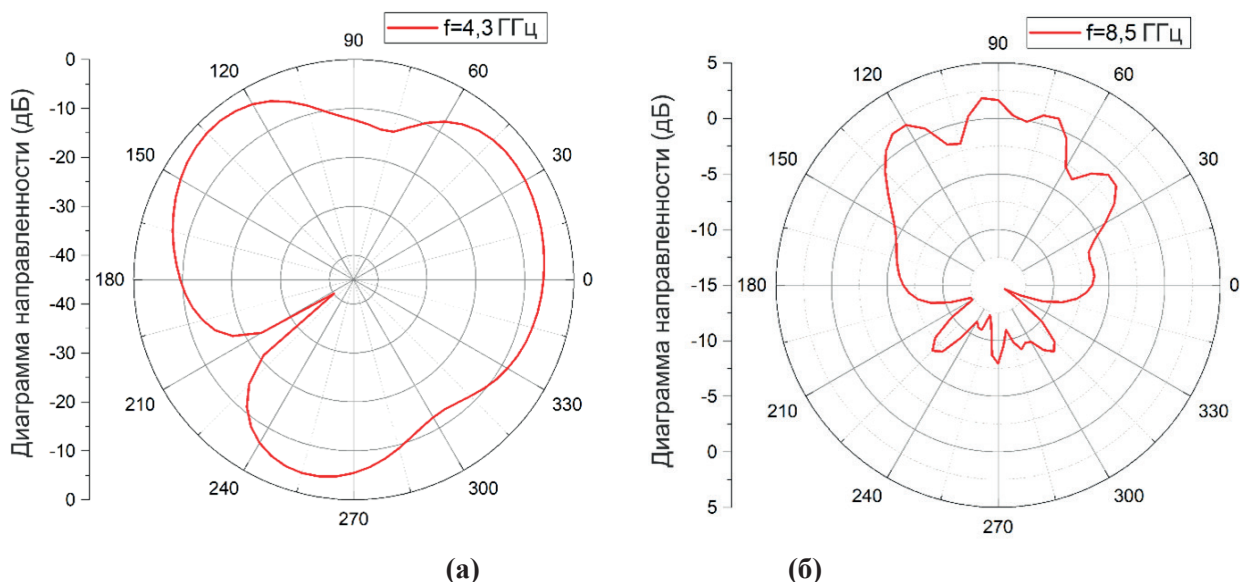


Рисунок 8. Двумерные диаграммы направленности антенны на частотах 4,3 ГГц (а) и 8,5 ГГц (б).

На рисунке 9 показаны трехмерные диаграммы направленности антенны на резонансных частотах. Согласно данным моделирования, на частоте 2,03 ГГц (9 (а)) антенна имеет отрицательный КУ -2,3 дБ, свидетельствующий о том, что в данной частоте антенна имеет потери, связанные с ее геометрией и материалом подложки.

На частоте 2,45 ГГц (9 (б)) антенна показывает КУ на уровне 2,6 дБ, что соответствует требованиям применяемых к данной антенне.

На частоте 4,3 ГГц (9 (в)) КУ антенны 4 дБ, хотя направление основного лепестка перекошена.

На частоте 8,5 ГГц (9 (г)) антенна показывает КУ на уровне 6,4 дБ. Данный показатель КУ достаточно для передачи высокоскоростных данных по направлению космос-Земля.

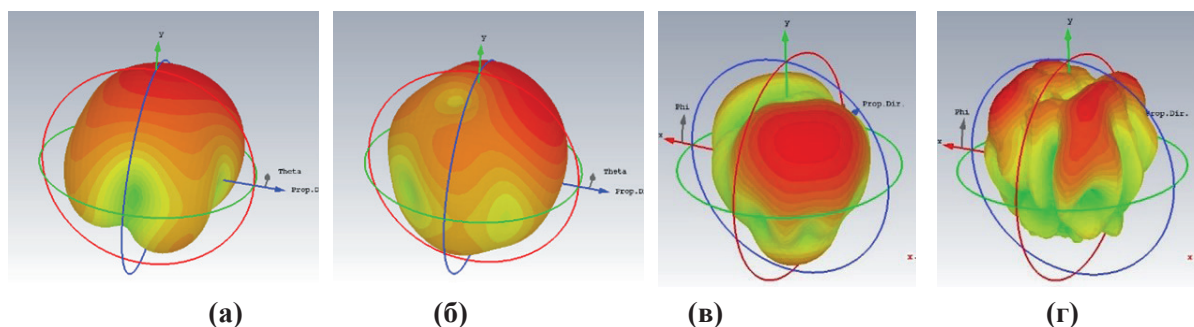


Рисунок 9. Трехмерные диаграммы направленности антенны на частотах 2,03 ГГц (а), 2,45 ГГц (б), 4,3 ГГц (в) и 8,5 ГГц (г).

В таблице 2 показаны сравнительные характеристики предлагаемой антенны с антеннами из работ в библиографии.

Таблица 2. Сравнительные характеристики антенн

Литература	Размер антенны	-10 дБ полоса импеданса (МГц)	КУ (дБ)
[18]	112 мм × 100 мм × 1.6 мм	1320-1370 / 2620-2730	1.058 / 2.5
[20]	50 мм × 50 мм × 1.6 мм	1600-2050 / 4880-6130 / 9860-10340	2.11 / 4.17 / 3.98
[22]	96 мм × 96 мм × 2.1 мм	2100-3200	3.7
Данная работа	100 мм × 100 мм × 3 мм	2015-2055 / 2426-2497 / 4237-4387 / 8383-8691	-2.3 / 2.6 / 4 / 6.4

Согласно данным таблицы 2, размеры рассматриваемых антенн очень схожи между собой. Антенная система из работы [18] работающая в L- и S-диапазонах с соответствующими КУ 1.058 дБ и 2.5 дБ,

имеет менее компактные размеры по сравнению с другими. Работа [20] самая компактная антенна из рассматриваемых, имеет схожие характеристики с предлагаемой антенной. Данные антенны не имеют технологии интегрирования, следовательно, предлагаемая антенна имеет это преимущество перед ними. Антенная система, приложенная в работе [22] по концепции интегрирования с оптической системой, очень похожая на предложенную антенну, имеет только одну полосу работы, тогда как предлагаемая антенна имеет как минимум два рабочих диапазона, соответствующих требованиям. Рассмотрев все имеющиеся характеристики антенн, компактность, необходимые ресурсы для производства, доступность материалов и другие аспекты, можно сделать вывод о том, что предложенная антенна является работоспособной в космической сфере. В данном случае возможно использование частоты 2,45 ГГц для передачи команды по направлению Земля-космос и 8,5 ГГц для приема высокоскоростных данных по направлению космос-Земля.

Заключение. В данной статье смоделирована многодиапазонная патч-антенна с интегрированной оптической системой формирования изображений дистанционного зондирования и наблюдения Земли. При этом излучатель антенны смоделирован на основе второй иерархии ЖФ, что существенно влияет на ее основные характеристики. Предлагаемая антенна имеет четыре резонансных частот и обеспечивает эффективную работу всей системы МКА наблюдения Земли. Многодиапазонность, компактность, невысокая стоимость, интеграция с оптической системой позволяют предложенной антенне конкурировать с другими антеннами такого типа.

Благодарность. Данное исследование выполнено при поддержке Министерства образования и науки Республики Казахстан в рамках гранта AP09057984 «Разработка и создание антенн S и X диапазонов для наноспутников CubeSat дистанционного зондирования Земли».

Мейрамбекұлы Н.*, Карибаев А.В., Темирбаев А.А.

Әл-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан.

E-mail: nurs.kaznu@gmail.com

ЖЕРДІ БАҚЫЛАУШЫ КІШІ ҒАРЫШ АППАРАТТАРЫНА АРНАЛҒАН АНИЗОТРОПТЫ ФРАКТАЛДЫҢ ЕКІНШІ БУЫНЫНА НЕГІЗДЕЛГЕН КӨП ДИАПАЗОНДЫ АНТЕННА

Аннотация. Бұл мақалада қашықтықтан зондтауға және Жерді бақылауға арналған CubeSat наноспутниктеріне арналған анизотропты фракталдың екінші буынына негізделген оптикалық бейнелеу жүйесімен біріктірілген көп жолақты патч антенна ұсынылған. Антенна ғарыштық техникада кеңінен қолданылатын S және X жиілік диапазонында жұмыс істейді, сигналдарды ғарыштан-Жерге және Жерден-ғарышқа бағыттарында береді. Антеннаның өлшемі мен геометриясы Cube Sat наноспутниктерінің соңғы бетіне сәйкес келуі үшін таңдалды. Антенна ғарыш кемесінің (ҒК) 100 мм × 100 мм жағына орнатылған және ондағы саңлау арқылы жер бетін бейнелеу жүйесінің оптикасымен біріктірілген. Бұл функция бүкіл жүйенің жұмысын жеңілдетуге, күн энергиясын өндіру үшін қолданылатын беттің көлемін ұлғайтуға, осылайша оның энергетикалық қауіпсіздігін арттыруға арналған. Антеннаның негізгі сипаттамалары қол жетімді максималды материалдарды пайдалана отырып, Computer Simulation Technology (CST) Microwave studio бағдарламалық жасақтамасында модельдеу арқылы зерттелді. Зерттеу нәтижесінде S және X жиілік диапазонында төрт резонанс табылды, бұл антеннаның көп диапазоны туралы айтуға мүмкіндік береді. 2,03 ГГц, 2,45 ГГц, 4,3 ГГц және 8,5 ГГц резонанстық жиіліктердегі шағылысу -10 дБ -тан төмен, ал кернеу бойынша тұрақты толқындық коэффициенті (КТТК) 2 -ден төмен. S-диапазоны және X-диапазонында 6,2 дБ.

Түйінді сөздер: антенна, CubeSat, Жерді бақылау, анизотропты фрактал, көпдиапазонды антенна, наноспутник.

Meirambekuly N.*, Karibayev B.A., Temirbayev A.A.

Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan.

E-mail: nurs.kaznu@gmail.com

**MULTI-BAND ANTENNA BASED ON THE SECOND GENERATION
OF ANISOTROPIC FRACTAL FOR SMALL REMOTE SENSING AND
EARTH OBSERVING SPACECRAFTS**

Abstract. This article presents a multi-band patch antenna integrated with an optical imaging system based on the second generation of anisotropic fractal for CubeSats for remote sensing and Earth observation. The antenna operates on the S- and X-frequency bands widely used in space technology, transmitting signals in the space-to-Earth and Earth-to-space directions. The size and geometry of the antenna was chosen to match the end face of the CubeSat nanosatellites. The antenna is mounted on the 100 mm × 100 mm side of the spacecraft (SC) and is integrated with the optics of the earth surface imaging system through a hole in it. This feature is designed to simplify the operation of the entire system, to increase the surface area used for generating solar energy, thereby increasing its energy security. The main characteristics of the antenna were investigated using simulation in the Computer Simulation Technology (CST) Microwave studio software environment, using the maximum available materials. As a result of the study, four resonances were found in the frequency ranges S and X, which makes it possible to talk about the multi-band of the antenna. The reflectance at resonance frequencies of 2.03 GHz, 2.45 GHz, 4.3 GHz and 8.5 GHz is well below -10 dB, and the voltage standing wave ratio (VSWR) is below 2. Maximum gain values are reached 2,3 dB in the S-band and 6.2 dB in the X-band.

Key words: antenna, CubeSat, Earth observation, anisotropic fractal, multi-band antenna, nanosatellite.

Information about authors:

Meirambekuly N. – Al - Farabi Kazakh National University, nurs.kaznu@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-2250-4763>;

Karibayev B.A. – Al - Farabi Kazakh National University, beibitkaribaev7@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-1057-0296>;

Temirbayev A.A. – Al - Farabi Kazakh National University, amirkhant@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-6759-2774>.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Таук Ю. Физически управляемые антенны Cubesat с адаптивным управлением частотой [Physically Controlled Cube Sat Antenna with Adaptive Frequency Operation], *Антенны IEEE и письма о беспроводном распространении*, т. 18, № 9, с. 1892-1896, Сент. 2019, doi: 10.1109/LAWP.2019.2932474.

[2] Константин Дж. и др. Развертываемые спиральные антенны УВЧ для спутников Cube Sats [UHF Deployable Helical Antennas for Cube Sats], *Транзакции IEEE по антеннам и распространению*, том. 64, №9, с. 3752-3759, Сент. 2016, doi: 10.1109/TAP.2016.2583058.

[3] Лехменсиек Р., Ванзил Р., Виссер Д. Конструкция ВЧ-антенны на Cube Sat высотой 1U [The design of an HF antenna on a 1U Cube Sat], 2013 Africon, 2013, стр. 1-5, DOI: 10.1109/AFRCON.2013.6757694.

[4] Джонсон А., Манохар В., Венкатакришнан С., Волакис Дж. Недорогая реконфигурируемая монополярная / патч-антенна S-диапазона для CubeSats [Low-Cost S-Band Reconfigurable Monopole / Patch Antenna for Cube Sats, *IEEE Open Journal of Antenna and Propagation*], Открытый журнал IEEE по антеннам и распространению, т. 1, стр. 598-603, 2020 г., DOI: 10.1109 / OJAP.2020.3034051.

[5] Чахат Н., Ходжес Р.Е., Саудер Дж., Томсон О., Перал Е., Рахмат-Сами Ю. Разработка развертываемой сетчатой рефлекторной антенны в Ka-диапазоне Cube Sat для миссий по изучению Земли [Cube Sat Deployable Ka - Band Mesh Reflector Antenna Development for Earth Science Missions], *Транзакции IEEE по антеннам и распространению радиоволн*, т. 64, № 6, стр. 2083-2093, июнь 2016 г., DOI: 10.1109 / TAP.2016.2546306.

[6] Манохар В., Рахмат-Самии Ю. Понимание радиационных характеристик металлических, низкопрофильных, смещенных ступенчатых параболических рефлекторных антенн: моделирование,

анализ и измерения [Understanding the Radiation Characteristics of Metal-Only, Low-Profile, Offset Stepped Parabolic Reflector Antennas: Simulation, Analysis, and Measurement], Транзакции IEEE по антеннам и распространению радиоволн, т. 69, № 8, стр. 5078-5083, август 2021 г., DOI: 10.1109 / TAP.2021.3060090.

[7] Чахат Н., Ходжес Р.Е., Sauder J., Thomson M., Peral E., Рахмат-Сами Ю. Разработка развертываемой сетчатой рефлекторной антенны в Ка-диапазоне Cube Sat для миссий по изучению Земли [Cube Sat Deployable Ka-Band Mesh Reflector Antenna Development for Earth Science Missions], Транзакции IEEE по антеннам и распространению радиоволн, т. 64, № 6, стр. 2083-2093, июнь 2016 г., DOI: 10.1109 / TAP.2016.2546306.

[8] Рахмат-Сами Ю., Манохар В., Ковитс Дж.М., Ходжес Р.Е., Фрибюри Ж., Пераль Э. Разработка развертываемой офсетной рефлекторной антенны с сеткой 1 м в Ка-диапазоне для радаров Cube Sat нового поколения [Development of Highly Constrained 1 m Ka-Band Mesh Deployable Offset Reflector Antenna for Next Generation Cube Sat Radars], Транзакции IEEE по антеннам и распространению, т. 67, № 10, стр. 6254-6266, октябрь 2019 г., DOI: 10.1109 / TAP.2019.2920223.

[9] Чахат Н., Саудер Дж., Митчел М., Бейдлеман Н., Фрибюри Ж. Однометровый развертываемый сетчатый рефлектор для электросвязи в дальнем космосе в X-диапазоне и Ка-диапазоне [One - Meter Deployable Mesh Reflector for Deep-Space Network Telecommunication at X - Band and Ka - Band], Транзакции IEEE по антеннам и распространению, т. 68, № 2, стр. 727-735, февраль 2020 г., DOI: 10.1109 / TAP.2019.2943394.

[10] Чандра А., Лопес Тоназзи Дж.С., Стетсон Д., Пэт Т., Уокер К.К. Надувные мембранные антенны для малых спутников [In flatable membrane antennas for small satellites], IEEE аэрокосмическая конференция 2020, 2020, стр. 1-8, DOI: 10.1109 / AERO47225.2020.9172737.

[11] Бабауска А., Саудер Дж., Чандра А., Тангавлаутам Дж., Феруглио Л., Бинерт Н. Надувная антенна для Cube Sat: новая сферическая конструкция для увеличения усиления в X-диапазоне [Inflatable antenna for Cube Sat: A new spherical design for increased X-band gain], 2017 IEEE аэрокосмическая конференция, 2017, стр. 1-10, doi: 10.1109 / AERO.2017.7943897.

[12] Чахат Н. «Введение», в дизайне антенны Cube Sat [“Introduction,” in Cube Sat Antenna Design], IEEE, 2021, стр. 1-33, DOI: 10.1002 / 9781119692720.ch1.

[13] Абулгасем С., Туббал Ф., Раад Р., Зеохарис П.И., Лу С., Иранманеш С. Конструкции антенн для Cube Sats: обзор [Antenna Designs for Cube Sats: A Review], Доступ IEEE. 2021, 9, 9380228, стр. 45289-45324.

[14] Уоррен П.А., Стейнбек Дж.В., Минелли Р.Дж., Мюллер К. «Большая развертываемая антенна S - диапазона для Cube Sat высотой 6U» [Large, Deployable S-Band Antenna for a 6U Cubesat], Американский институт Аэронавтика и астронавтика / Университет штата Юта, конф. Малые спутники, 2015, стр. 1-7.

[15] Вертегаал С., Бентум М. Технико-экономическое обоснование надувных антенн в качестве наблюдательных антенн для сверх низко частотных приложений Cube Sat [Feasibility Study of Inflatable Antennas as Observational Antenna for Ultra Low Frequency Cube Sat Applications], 2020 Аэрокосмическая конференция IEEE, 2020, стр. 1-13, doi: 10.1109 / AERO47225.2020.9172668.

[16] Чандра А., Лопес Тоназзи Дж.С., Стетсон Д., Пэт Т., Уокер К.К. Надувные мембранные антенны для малых спутников [Inflatable membrane antennas for small satellites], 2020 Аэрокосмическая конференция IEEE, 2020, стр. 1-8, DOI: 10.1109 / AERO47225.2020.9172737.

[17] Группа экспертов по распределению частот и защите спектра для научных целей; Комитет по радиочастотам. Справочник по распределению частот и защите спектра для научных целей [Handbook of Frequency Allocations and Spectrum Protection for Scientific Uses]. Издательство национальных академий. 2015, 2-е изд., 127-171.

[18] Малаллах Р., Шаабан Р.М., Ат-Тумах W.A.G. Двух диапазонная звездообразная фрактальная щелевая антенна: конструкция и измерения [A dualband star-shaped fractal slot antenna: Design and measurement], AEU – Международный журнал электроники и коммуникации. -2020. - т. 127, - с. 153473, DOI: 10.1016 / j.aeue.2020.153473.

[19] Тивари Д., Ансари Дж.А., Сародж А.К., Кумар М. Анализ миниатюрной гексагональной фрактальной микрополосковой антенны Серпинского прокладки для современной беспроводной связи [Analysis of a Miniaturized Hexagonal Sierpinski Gasket fractal microstrip antenna for modern wireless communications], AEU – Международный журнал электроники и коммуникации. -2020. – т. 123, - стр. 153288, DOI: /10.1016/j.aeue.2020.153288.

[20] Гупта М., Матур В., Кумар А., Саксена В., Бхатнагар Д. Микрополосковая шестиугольная фрактальная антенна для военных приложений [Microstrip hexagonal fractal antenna for military applications], *Frequenz*. -2019. - т. 73 (9-10), -с. 321-330, DOI: 10.1515 / freq-2019-0028.

[21] Махендран К., Гаятри Д.Р., Сударсан Х. Конструкция многодиапазонной треугольной микрополосковой патч-антенны с треугольным разрезным кольцевым резонатором для приложений S-диапазона, C-диапазона и X-диапазона [Design of multi band triangular microstrip patch antenna with triangular split ring resonator for S band, C band and X band applications], *Микропроцессоры и микросистемы*. -2021. –т. 80, стр. 103400, DOI: 10.1016 / j. micro.2020.103400.

[22] Жанабаев З. Фрактальная модель турбулентности в струе [Fractal model of turbulence in a jet]. *Советский журнал прикладной физики*, 1989, 3 (1), 75-78.

[23] Наскетти А., Пителла Е., Тоефилатто П., Пиза С. Патч-антенная система с высоким коэффициентом усиления S-диапазона для спутников наблюдения Земли Cube Sat [High-gain S-band patch antenna system for earth-observation Cube Satellites]. *Антенны IEEE и письма о беспроводном распространении*. 2015, 14, 434-437, DOI: 10.1109 / LAWP.2014.2366791.

[24] Мейрамбекулы Н., Темирбаев А., Жанабаев З., Карибаев Б., Намазбаев Т., Ханиев Б., Ханиева А. Двухдиапазонная патч-антенна, интегрированная с оптической системой формирования изображений на основе анизотропного фрактала для наземных спутников Cube Sats [Dual – band optical imaging system-integrated patch antenna based on anisotropic fractal for earth - observation Cube Sats]. *Инженерный журнал Айн - Шамс. Доступно онлайн с 19 августа 2021 г.* <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2090447921003117>, doi: 10.1016 / j. asej.2021.07.010.

[25] Баланис К.А. Теория, анализ и проектирование антенн [Antenna theory, analysis and design], 3-е изд.; Wiley: Хобокен, Нью-Джерси, США, 2005; с. 816-820.

REFERENCES

[1] Tawk Y. Physically Controlled CubeSat Antennas with an Adaptive Frequency Operation, *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, vol. 18, no. 9, pp. 1892-1896, Sept. 2019, doi: 10.1109/LAWP.2019.2932474.

[2] Costantine J. et al. UHF Deployable Helical Antennas for CubeSats, *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 64, no. 9, pp. 3752-3759, Sept. 2016, doi: 10.1109/TAP.2016.2583058.

[3] Lehmensiek R., van Zyl R., Visser D. The design of an HF antenna on a 1U Cube Sat, 2013 Africon, 2013, pp. 1-5, doi: 10.1109/AFRCON.2013.6757694.

[4] Johnson A., Манохар В., Venkatakrishnan S., Volakis J. Low-Cost S-Band Reconfigurable Monopole/Patch Antenna for CubeSats, *IEEE Open Journal of Antennas and Propagation*, vol. 1, pp. 598-603, 2020, doi: 10.1109/OJAP.2020.3034051.

[5] Chahat N., Hodges R.E., Sauder J., Thomson M.; Peral E., Rahmat-Samii Y. Cube Sat Deployable Ka-Band Mesh Reflector Antenna Development for Earth Science Missions, *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 64, no. 6, pp. 2083-2093, June 2016, doi: 10.1109/TAP.2016.2546306.

[6] Manohar V.; Rahmat-Samii, Y. Understanding the Radiation Characteristics of Metal-Only, Low-Profile, Offset Stepped Parabolic Reflector Antennas: Simulation, Analysis, and Measurement, *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 69, no. 8, pp. 5078-5083, Aug. 2021, doi: 10.1109/TAP.2021.3060090.

[7] Chahat N., Hodges R.E., Sauder J., Thomson M., Peral E., Rahmat-Samii Y. Cube Sat Deployable Ka-Band Mesh Reflector Antenna Development for Earth Science Missions, *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 64, no. 6, pp. 2083-2093, June 2016, doi: 10.1109/TAP.2016.2546306.

[8] Rahmat-Samii Y., Манохар В., Kovitz J.M., Ходжес Р.Е., Freebury G., Peral E. Development of Highly Constrained 1 m Ka-Band Mesh Deployable Offset Reflector Antenna for Next Generation CubeSat Radars, *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 67, no. 10, pp. 6254-6266, Oct. 2019, doi: 10.1109/TAP.2019.2920223.

[9] Chahat N., Sauder J., Mitchell M., Beidleman N., Freebury G. One-Meter Deployable Mesh Reflector for Deep-Space Network Telecommunication at X-Band and Ka - Band, *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 68, no. 2, pp. 727-735, Feb. 2020, doi: 10.1109/TAP.2019.2943394.

[10] Chandra A., Lopez Tonazzi J.C., Stetson D.; Pat T., Walker C.K. Inflatable membrane antennas for small satellites, 2020 IEEE Aerospace Conference, 2020, pp. 1-8, doi: 10.1109/AERO47225.2020.9172737.

[11] Babuscia A., Sauder J., Chandra A., Thangavelautham J., Feruglio L., Bienert N. Inflatable antenna for CubeSat: A new spherical design for increased X-band gain, 2017 IEEE Aerospace Conference, 2017, pp. 1-10, doi: 10.1109/AERO.2017.7943897.

- [12] Chahat N. "Introduction," in *CubeSat Antenna Design*, IEEE, 2021, pp.1-33, doi: 10.1002/9781119692720.ch1.
- [13] Abulgasem S., Tubbal F., Raad R., Theoharis P.I., Lu S., Iranmanesh S. *Antenna Designs for Cube Sats: A Review*. IEEE Access. 2021, 9,9380228, pp. 45289-45324.
- [14] Warren P.A., Steinbeck J.W., Minelli R.J., Mueller C. "Large, deployable S-band antenna for a 6U CubeSat," in *Proc. 29th Annu. American Inst. Aeronautics and Astronautics/Utah State University Conf. Small Satellites*, pp. 1–7, 2015.
- [15] Vertegaal C., Bentum M. *Feasibility Study of Inflatable Antennas as Observational Antenna for Ultra Low Frequency CubeSat Applications*, 2020 IEEE Aerospace Conference, 2020, pp. 1-13, doi: 10.1109/AERO47225.2020.9172668.
- [16] Chandra A., Lopez Tonazzi J.C., Stetson D., Pat T., Walker C.K. *Inflatable membrane antennas for small satellites*, 2020 IEEE Aerospace Conference, 2020, pp. 1-8, doi: 10.1109/AERO47225.2020.9172737.
- [17] Panel on Frequency Allocations and Spectrum Protection for Scientific Uses; Committee on Radio Frequencies. *Hand book of Frequency Allocations and Spectrum Protection for Scientific Uses*. The National Academies Press. 2015, 2-nd ed., 127-171.
- [18] Malallah R., Shaaban R.M., Al-Tumah W.A.G. *A dual band star-shaped fractal slot antenna: Design and measurement*. AEU - International Journal of Electronics and Communications. - 2020. – Vol. 127, - p. 153473, doi: 10.1016/j.aeue.2020.153473.
- [19] Tiwari D., Ansari J.A., Saroj A.K., Kumar M. *Analysis of a Miniaturized Hexagonal Sierpinski Gasket fractal microstrip antenna for modern wireless communications*. AEU - International Journal of Electronics and Communications. -2020. –Vol. 123, -p. 153288, doi: /10.1016/j.aeue.2020.153288.
- [20] Gupta M., Mathur V., Kumar A., Saxena V., Bhatnagar D. *Microstrip hexagonal fractal antenna for military applications*. Frequenz. -2019. – Vol. 73(9-10), -P. 321-330, doi:10.1515/freq-2019-0028.
- [21] Mahendran K., Gayathri D.R., Sudarsan H. *Design of multi band triangular microstrip patch antenna with triangular split ring resonator for S band, C band and X band applications*. Microprocessors and Microsystems. -2021. –Vol. 80, p. 103400, doi: 10.1016/j.micpro.2020.103400.
- [22] Zhanabaev Z. *Fractal model of turbulence in a jet*. Soviet journal of applied physics.1989, 3 (1), 75-78.
- [23] Nascetti A., Pittella E., Teofilatto P., Pisa S. *High-gain S-band patch antenna system for earth-observation CubeSat satellites*. IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters. 2015, 14, 434-437, doi: 10.1109/LAWP.2014.2366791.
- [24] Meirambekuly N., Temirbayev A., Zhanabaev Z., Karibayev B., Namazbayev T., Khaniyev B., Khaniyeva A. *Dual-band optical imaging system-integrated patch antenna based on anisotropic fractal for earth-observation CubeSats*. Ain Shams Engineering Journal. Available online 19 August 2021. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2090447921003117>, doi:10.1016/j.asej.2021.07.010.
- [25] Balanis C.A. *Antena theory, analysis and design*, 3rd ed.; Wiley: Hoboken, NJ, USA, 2005; pp. 816-820.

МАЗМҰНЫ

ФИЗИКА

Абуова Ф.У., Инербаев Т.М., Абуова А.У., Қаптағай Г.Ә., Мерәлі Н. ВАНАДИЙМЕН ЛЕГИРЛЕНГЕН $Mn_2CoZ(Al/Ga)$ ҚОСПАСЫНЫҢ ҚҰРЫЛЫМДЫҚ, ЭЛЕКТРОНДЫҚ ЖӘНЕ МАГНИТТІК ҚАСИЕТТЕРІ.....	6
Алдақұлов Е., Темірбек Ә.М., Муратов М.М., Молдабеков Ж., Рамазанов Т.С. КРИОГЕНДІК ЖАҒДАЙДАҒЫ ТОЗАҢДЫ ПЛАЗМА БӨЛШЕКТЕРДІҢ ЖҰПТЫҚ КОРРЕЛЯЦИЯЛЫҚ ФУНКЦИЯСЫНА ТЕРМОФОРЕТИКАЛЫҚ КҮШНІҢ ӘСЕРІ.....	17
Калжигитов Н.К., Василевский В.С., Такибаев Н.Ж., Курманғалиева В.О. 6Li ЯДРОСЫНДАҒЫ КЛАСТЕРЛІК ПОЛЯРИЗАЦИЯ ЭФФЕКТІЛЕРІН ЗЕРТТЕУ.....	25
Курбаниязов А.К., Сырлыбекқызы С., Джанаалиева Н.Ш., Аккенжеева А.Ш., Кабылова А.Р. ОРТА КАСПИЙДІҢ ТЕҢІЗ АҒЫНЫН МЕН ТЕРМОХАЛИН ҚҰРЫЛЫМЫН ТІКЕЛЕЙ ӨЛШЕУ...33	
Мейрамбекұлы Н., Карибаев А.В., Темирбаев А.А. ЖЕРДІ БАРЛАУШЫ КІШІ ҒАРЫШ АППАРАТТАРЫНА АРНАЛҒАН АНИЗАТРОПТЫ ФРАКТАЛДЫҢ ЕКІНШІ БУЫНЫНА НЕГІЗДЕЛГЕН КӨПДИАПАЗОНДЫ АНТЕННА.....	42
Мұсабек Г.Қ., Садықов Ғ.Қ., Бақтыгерей С.З., Задерко А.Н., Лесняк В.В. ТЕРМОМЕТРИЯҒА АРНАЛҒАН ФОТО ЛЮМИНЦЕНЦИЯЛЫҚ НАНОМАТЕРИАЛДАР: КРЕМНИЙ ЖӘНЕ КӨМІРТЕКТИ НАНОБӨЛШЕКТЕР.....	54

ИНФОРМАТИКА

Джусупбекова Г.Т., Жидебаева А.Н., Изтаев Ж.Д., Шаймерденова Г.С., Тастанбекова Б.О. DELPHI ОРТАСЫНДА «БАНК ЖҮЙЕСІНДЕГІ НЕСИЕЛЕР МЕН ДЕПОЗИТТЕРДІ АВТОМАТТАНДЫРУ» ЖҰМЫС ОРЫНДАРЫН ҚҰРУ.....	61
Ерасыл К., Ахметов И., Джаксылықова А. KASPI ӨНІМДЕРІ ТУРАЛЫ ПІКІРЛЕРДЕГІ КӨҢІЛ-КҮЙДІ ТАЛДАУ.....	68
Мауленов Қ.С., Кудубаева С.А. НААР, НОГ, CNN БЕТ ДЕТЕКТОРЛАРЫН САЛЫСТЫРМАЛЫ ТАЛДАУ.....	74
Сейлова Н.А., Журынтаев Ж.З., Мамырбаев О.Ж., Батыргалиев А.Б., Тұрдалыұлы М. ПСЕВДО КЕЗДЕЙСОҚ ИМПУЛЬСТАР ТІЗБЕГІНІҢ САНДЫҚ ГЕНЕРАТОРЛАРЫ ЖӘНЕ ОЛАРДЫ CAD QUARTUS II ОРТАСЫНДА FPGA КӨМЕГІМЕН МОДЕЛЬДЕУ.....	83
Сымагулов А., Кучин Я., Елис М., Жумабаев А., Абдуразаков А. МАШИНАЛЫҚ ОҚЫТУДЫҢ ҚАРА ЖӘШІКТЕРІН ТҮСІНДІРУ ӘДІСТЕРІ ЖӘНЕ ШЕШІМ ҚАБЫЛДАУДЫ ҚОЛДАУ ЖҮЙЕЛЕРІН ҚҰРУ ҮШІН ОЛАРДЫ ҚОЛДАНУ.....	91
Усатова О.А., Бегимбаева Е.Е., Нысанбаева С.Е., Усатов Н.С. ХЕШ ФУНКЦИЯ ӘДІСТЕРІН ТАЛДАУ ЖӘНЕ ПРАКТИКАЛЫҚ ҚОЛДАНУ.....	100

МАТЕМАТИКА

Абдраманова Г.Б., Имамбек О., Белисарова Ф.Б. p^7B СЕРПИМДІ ШАШЫРАУ ҚИМАСЫНЫҢ ЕСЕПТЕУЛЕРІ ҮШІН ГЛАУБЕР ТЕОРИЯНЫҢ НЕГІЗІНДЕГІ МАТЕМАТИКАЛЫҚ ФОРМАЛИЗМ.....	111
Адилова А.Қ., Жүзбаев С.С., Ахметжанова Ш.Е. КОМПОЗИЦИЯЛЫҚ МАТЕРИАЛДАР ҚҰРЫЛЫМЫ ЖӘНЕ КОМПОЗИТТЕР МЕХАНИКАСЫНЫҢ ЕСЕПТЕРІ.....	119
Иванов К.С., Тулекенова Т.Д. ТҮЙІСУ МЕХАНИЗІМІНІҢ БЕЙІМДЕЛГЕН ЖЕТЕГІНІҢ ДИНАМИКАСЫ.....	131
Исраилова С.Т., Муханова А.А., Сатыбалдиева А.Ж. ТЕҢГЕРІМДІ КӨРСЕТКІШТЕР ЖҮЙЕСІ БОЙЫНША КӘСІПОРЫННЫҢ БИЗНЕС ПРОЦЕСТЕРІНІҢ ТИІМДІЛІГІН БАҒАЛАУ АЛГОРИТМІ.....	137
Оразбаев Б.Б., Жумадиллаева А.К., Дюсекеев К.А., Сантеева С.Ә., Xiao-Guang Yue ЖҮЙЕЛІК ТӘСІЛДЕМЕ НЕГІЗІНДЕ ЛГ-35-11/300-95 ҚОНДЫРҒЫСЫНЫҢ БЕНЗИНДІ РИФОРМИНГТЕУ РЕАКТОРЛАРЫНЫҢ МАТЕМАТИКАЛЫҚ МОДЕЛЬДЕРІН ҚҰРУ.....	145

СОДЕРЖАНИЕ

ФИЗИКА

Абуова Ф.У., Инербаев Т.М., Абуова А.У., Каптагай Г.А., Мерәлі Н. СТРУКТУРНЫЕ, ЭЛЕКТРОННЫЕ И МАГНИТНЫЕ СВОЙСТВА $Mn_2CoZ(Al/Ga)$ ПРИ ЛЕГИРОВАНИИ ВАНАДИЕМ.....	6
Алдакулов Е., Темірбек Ә.М., Муратов М.М., Молдабеков Ж., Рамазанов Т.С. ВЛИЯНИЕ СИЛЫ АТОМНОГО УВЛЕЧЕНИЯ НА ПАРНУЮ КОРРЕЛЯЦИОННУЮ ФУНКЦИЮ ПЫЛЕВОЙ ПЛАЗМЫ В КРИОГЕННЫХ УСЛОВИЯХ.....	17
Калжигитов Н.К., Василевский В.С., Такибаев Н.Ж., Курмангалиева В.О. ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТОВ КЛАСТЕРНОЙ ПОЛЯРИЗАЦИИ В ЯДРЕ 6Li	25
Курбаниязов А.К., Сырлыбеккызы С., Джаналиева Н.Ш., Аккенжеева А.Ш., Кабулова А. ПРЯМОЕ ИЗМЕРЕНИЕ МОРСКОГО ТЕЧЕНИЯ И ТЕРМОХАЛИНОВОЙ СТРУКТУРЫ СРЕДНЕГО КАСПИЯ.....	33
Мейрамбекұлы Н., Карибаев Б.А., Темирбаев А.А. МНОГОДИАПАЗОННАЯ АНТЕННА НА БАЗЕ ВТОРОГО ПОКОЛЕНИЯ АНИЗОТРОПНОГО ФРАКТАЛА ДЛЯ МАЛЫХ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ И НАБЛЮДЕНИЯ ЗЕМЛИ.....	42
Мусабек Г.К., Садыков Г.К., Бактыгерей С.З., Задерко А.Н., Лесняк В.В. ФОТОЛЮМИНЦЕНТНЫЕ НАНОМАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ТЕРМОМЕТРИИ: КРЕМНИЙ И УГЛЕРОДНЫЕ НАНОЧАСТИЦЫ.....	54

ИНФОРМАТИКА

Джусупбекова Г.Т., Жидебаева А.Н., Изтаев Ж.Д., Шаймерденова Г.С., Тастанбекова Б.О. СОЗДАНИЕ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ РАБОЧИХ МЕСТ ДЛЯ «КРЕДИТОВАНИЕ И ДЕПОЗИТЫ В БАНКОВСКОЙ СИСТЕМЕ» В СРЕДЕ DELPHI.....	61
Ерасыл К., Ахметов И., Джаксылыкова А. ТОНАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ОТЗЫВОВ О ТОВАРАХ KASPI.....	68
Мауленов Қ.С., Кудубаева С.А. СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ДЕТЕКТОРОВ ЛИЦ HAAR, HOG, CNN.....	74
Сейлова Н.А., Джурунтаев Д.З., Мамырбаев О.Ж., Батыргалиев А.Б., Тұрдалыұлы М. ЦИФРОВЫЕ ГЕНЕРАТОРЫ ПСЕВДОСЛУЧАЙНОЙ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ ИМПУЛЬСОВ И ИХ МОДЕЛИРОВАНИЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПЛИС В СРЕДЕ САПР QUARTUSII.....	83
Сымагулов А., Кучин Я., Елис М., Жумабаев А., Абдуразаков А. МЕТОДЫ ИНТЕРПРЕТАЦИИ ЧЕРНЫХ ЯЩИКОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ ДЛЯ СОЗДАНИЯ СИСТЕМ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ.....	91
Усатова О.А., Бегимбаева Е.Е., Нысанбаева С.Е., Усатов Н.С. АНАЛИЗ МЕТОДОВ И ПРАКТИЧЕСКОЕ ПРИМЕНЕНИЕ ХЕШ-ФУНКЦИЙ.....	100

МАТЕМАТИКА

Абдраманова Г.Б., Имамбек О., Белисарова Ф.Б. МАТЕМАТИЧЕСКИЙ ФОРМАЛИЗМ ДЛЯ РАСЧЕТОВ СЕЧЕНИЯ УПРУГОГО p^7Be -РАССЕЯНИЯ В РАМКАХ ТЕОРИИ ГЛАУБЕРА.....	111
Адилова А.К., Жузбаев С.С., Ахметжанова Ш.Е. СТРУКТУРА КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА И ЗАДАЧИ МЕХАНИКИ КОМПОЗИТОВ..	119
Иванов К.С., Тулекенова Т.Д. ДИНАМИКА АДАПТИВНОГО ПРИВОДА СТЫКОВОЧНОГО МЕХАНИЗМА.....	131
Исраилова С.Т., Муханова А.А., Сатыбалдиева А.Ж. СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ОЦЕНКИ БИЗНЕС-ПРОЦЕССОВ ПРЕДПРИЯТИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СБАЛАНСИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ПОКАЗАТЕЛЕЙ.....	137
Оразбаев Б.Б., Жумадилаева А.К., Дюсекеев К.А., Сантеева С.А., Xiao-Guang Yue РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ РЕАКТОРОВ РИФОРМИНГА БЕНЗИНА УСТАНОВКИ ЛГ-35-11/300-95 НА ОСНОВЕ СИСТЕМНОГО ПОДХОДА.....	145

CONTENTS

PHYSICS

Abuova F., Inerbaev T., Abuova A., Kaptagay G., Merali N. STRUCTURAL, ELECTRONIC AND MAGNETIC PROPERTIES OF VANADIUM DOPED Mn ₂ CoZ(Al/Ga).....	6
Aldakulov Ye., Temirbek A.M., Muratov M.M., Moldabekov Z., Ramazanov T.S. INFLUENCE OF THE NEUTRAL SHADOWING FORCE ON THE PAIR CORRELATION FUNCTION OF THE DUSTY PLASMA UNDER CRYOGENIC CONDITIONS.....	17
Kalzhitov N., Vasilevsky V.S., Takibayev N. Zh., Kurmangaliyeva V.O. A STUDY OF THE EFFECTS OF CLUSTER POLARIZATION IN THE 6Li NUCLEUS.....	25
Kurbaniyazov A.K., Syrlybekkyzy S., Janaliyeva N.Sh., Akkenzheyeva A., Kabylova A. DIRECT MEASUREMENT OF SEA CURRENTS AND THERMOHALINE STRUCTURE OF THE MIDDLE CASPIAN.....	33
Meirambekuly N., Karibayev B.A., Temirbayev A.A. MULTI-BAND ANTENNA BASED ON THE SECOND GENERATION OF ANISOTROPIC FRACTAL FOR SMALL REMOTE SENSING AND EARTH OBSERVING SPACECRAFTS.....	42
Mussabek G.K., Sadykov G.K., Baktygeray S.Z., Zaderko A.N. Lisnyak V.V. PHOTOLUMINESCENT NANOMATERIALS FOR THERMOMETRY: SILICON AND CARBON NANOPARTICLES.....	54

COMPUTER SCIENCE

Jussupbekova G.T., Zhidebayeva A.N., Iztayev Zh.D., Shaimerdenova G.S., Tastanbekova B.O. CREATION OF AUTOMATED JOBS FOR "LOANS AND DEPOSITS IN THE BANKING SYSTEM" IN THE DELPHI ENVIRONMENT.....	61
Yerassyl K., Akhmetov I, Jaxylykova A. SENTIMENT ANALYSIS OF KASPI PRODUCT REVIEWS.....	68
Maulenov K.S., Kudubaeva S.A. COMPARATIVE ANALYSIS OF FACE DETECTORS HAAR, HOG, CNN.....	74
Seilova N.A., Dzhuruntaev D.Z., Mamyrbayev O.Zh., Batyrgaliev A.B., Turdalyuly M. DIGITAL GENERATORS OF A PSEUDORANDOM PULSES SEQUENCE AND THEIR MODELING WITH USE OF FPGA IN THE ENVIRONMENT CAD QUARTUS II.....	83
Symagulov A., Kuchin Ya., Yelis M., Zhumabayev A., Abdurazakov A. METHODS FOR INTERPRETING MACHINE LEARNING BLACK BOXES AND THEIR APPLICATION TO DECISION SUPPORT SYSTEMS.....	91
Ussatova O., Begimbayeva Ye., Nyssanbayeva S., Ussatov N. ANALYSIS OF METHODS AND PRACTICAL APPLICATION OF HASH FUNCTIONS.....	100

MATHEMATICS

Abdramanova G.B., Imambek O., Belisarova F.B. MATHEMATICAL FORMALISM FOR CALCULATIONS OF THE ELASTIC p ₇ Be SCATTERING CROSS SECTION IN THE FRAMEWORK OF GLAUBER THEORY.....	111
Adilova A.K., Zhuzbayev S.S., Akhmetzhanova S.E. COMPOSITE MATERIAL STRUCTURE AND PROBLEMS OF COMPOSITE MECHANICS.....	119
Ivanov K.S., Tulekenova T.D. DYNAMICS OF THE ADAPTIVE DRIVE OF THE DOCKING MECHANISM.....	131
Israilova S., Mukhanova A., Satybaldiyeva A. MODERN METHODS FOR EVALUATING BUSINESS PROCESSES OF AN ENTERPRISE USING A BALANCED SCORECARD.....	137
Orazbayev B., Zhumadillayeva A., Dyussekeyev K., Santeyeva S., Xiao-Guang Yue DEVELOPMENT MATHEMATICAL MODELS OF PETROL REFORMING REACTORS OF THE LG-35-11 / 300-95 INSTALLATION BASED ON A SYSTEM APPROACH.....	145

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

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

Редакторы: *М.С. Ахметова, А. Ботанқызы, Д.С. Аленов, Р.Ж. Мрзабаева*
Верстка на компьютере *Г.Д. Жадыранова*

Подписано в печать 15.10.2021.
Формат 60x881/8. Бумага офсетная. Печать – ризограф.
4,6 п.л. Тираж 300. Заказ 5.