



# АКТУАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

МЕЖДУНАРОДНЫЙ НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ

ISSN 2713-1513

#12 (194), 2024

ЧАСТЬ I

# Актуальные исследования

Международный научный журнал

2024 • № 12 (194)

Часть I

Издается с ноября 2019 года

Выходит еженедельно

ISSN 2713-1513

**Главный редактор:** Ткачев Александр Анатольевич, канд. социол. наук

**Ответственный редактор:** Ткачева Екатерина Петровна

Статьи, поступающие в редакцию, рецензируются.

За достоверность сведений, изложенных в статьях, ответственность несут авторы.

Мнение редакции может не совпадать с мнением авторов статей.

При использовании и заимствовании материалов ссылка на издание обязательна.

Материалы публикуются в авторской редакции.

## РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

**Абидова Гулмира Шухратовна**, доктор технических наук, доцент (Ташкентский государственный транспортный университет)

**Альборад Ахмед Абуди Хусейн**, преподаватель, PhD, Член Иракской Ассоциации спортивных наук (Университет Куфы, Ирак)

**Аль-бутбахак Башшар Абуд Фадхиль**, преподаватель, PhD, Член Иракской Ассоциации спортивных наук (Университет Куфы, Ирак)

**Альхаким Ахмед Кадим Абдуалкарем Мухаммед**, PhD, доцент, Член Иракской Ассоциации спортивных наук (Университет Куфы, Ирак)

**Асаналиев Мелис Казыкеевич**, доктор педагогических наук, профессор, академик МАНПО РФ (Кыргызский государственный технический университет)

**Атаев Загир Вагитович**, кандидат географических наук, проректор по научной работе, профессор, директор НИИ биогеографии и ландшафтной экологии (Дагестанский государственный педагогический университет)

**Бафоев Феруз Муртазович**, кандидат политических наук, доцент (Бухарский инженерно-технологический институт)

**Гаврилин Александр Васильевич**, доктор педагогических наук, профессор, Почетный работник образования (Владимирский институт развития образования имени Л.И. Новиковой)

**Галузо Василий Николаевич**, кандидат юридических наук, старший научный сотрудник (Научно-исследовательский институт образования и науки)

**Григорьев Михаил Федосеевич**, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент (Арктический государственный агротехнологический университет)

**Губайдуллина Гаян Нурахметовна**, кандидат педагогических наук, доцент, член-корреспондент Международной Академии педагогического образования (Восточно-Казахстанский государственный университет им. С. Аманжолова)

**Ежкова Нина Сергеевна**, доктор педагогических наук, профессор кафедры психологии и педагогики (Тульский государственный педагогический университет им. Л.Н. Толстого)

**Жилина Наталья Юрьевна**, кандидат юридических наук, доцент (Белгородский государственный национальный исследовательский университет)

**Ильина Екатерина Александровна**, кандидат архитектуры, доцент (Государственный университет по землеустройству)

**Каландаров Азиз Абдурахманович**, PhD по физико-математическим наукам, доцент, декан факультета информационных технологий (Гулистанский государственный университет)

**Карпович Виктор Францевич**, кандидат экономических наук, доцент (Белорусский национальный технический университет)

**Кожевников Олег Альбертович**, кандидат юридических наук, доцент, Почетный адвокат России (Уральский государственный юридический университет)

**Колесников Александр Сергеевич**, кандидат технических наук, доцент (Южно-Казахстанский университет им. М. Ауэзова)

**Копалкина Евгения Геннадьевна**, кандидат философских наук, доцент (Иркутский национальный исследовательский технический университет)

**Красовский Андрей Николаевич**, доктор физико-математических наук, профессор, член-корреспондент РАЕН и АИН (Уральский технический институт связи и информатики)

**Кузнецов Игорь Анатольевич**, кандидат медицинских наук, доцент, академик международной академии фундаментального образования (МАФО), доктор медицинских наук РАГПН,

профессор, почетный доктор наук РАЕ, член-корр. Российской академии медико-технических наук (РАМТН) (Астраханский государственный технический университет)

**Литвинова Жанна Борисовна**, кандидат педагогических наук (Кубанский государственный университет)

**Мамедова Наталья Александровна**, кандидат экономических наук, доцент (Российский экономический университет им. Г.В. Плеханова)

**Мукий Юлия Викторовна**, кандидат биологических наук, доцент (Санкт-Петербургская академия ветеринарной медицины)

**Никова Марина Александровна**, кандидат социологических наук, доцент (Московский государственный областной университет (МГОУ))

**Насакаева Бакыт Ермекбайкызы**, кандидат экономических наук, доцент, член экспертного Совета МОН РК (Карагандинский государственный технический университет)

**Олешкевич Кирилл Игоревич**, кандидат педагогических наук, доцент (Московский государственный институт культуры)

**Попов Дмитрий Владимирович**, доктор филологических наук (DSc), доцент (Андижанский государственный институт иностранных языков)

**Пятаева Ольга Алексеевна**, кандидат экономических наук, доцент (Российская государственная академия интеллектуальной собственности)

**Редкоус Владимир Михайлович**, доктор юридических наук, профессор (Институт государства и права РАН)

**Самович Александр Леонидович**, доктор исторических наук, доцент (ОО «Белорусское общество архивистов»)

**Сидикова Тахира Далиевна**, PhD, доцент (Ташкентский государственный транспортный университет)

**Таджибоев Шарифджон Гайбуллоевич**, кандидат филологических наук, доцент (Худжандский государственный университет им. академика Бободжона Гафурова)

**Тихомирова Евгения Ивановна**, доктор педагогических наук, профессор, Почётный работник ВПО РФ, академик МААН, академик РАЕ (Самарский государственный социально-педагогический университет)

**Хайтова Олмахон Саидовна**, кандидат исторических наук, доцент, Почетный академик Академии наук «Турон» (Навоийский государственный горный институт)

**Цуриков Александр Николаевич**, кандидат технических наук, доцент (Ростовский государственный университет путей сообщения (РГУПС))

**Чернышев Виктор Петрович**, кандидат педагогических наук, профессор, Заслуженный тренер РФ (Тихоокеанский государственный университет)

**Шаповал Жанна Александровна**, кандидат социологических наук, доцент (Белгородский государственный национальный исследовательский университет)

**Шошин Сергей Владимирович**, кандидат юридических наук, доцент (Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского)

**Эшонкулова Нуржахон Абдужабборовна**, PhD по философским наукам, доцент (Навоийский государственный горный институт)

**Яхшиева Зухра Зиятовна**, доктор химических наук, доцент (Джиззакский государственный педагогический институт)

## СОДЕРЖАНИЕ

### МАТЕМАТИКА

**Гапич Д.Д.**

РАЗВИТИЕ КРИТИЧЕСКОГО МЫШЛЕНИЯ МЛАДШИХ ШКОЛЬНИКОВ НА УРОКАХ  
МАТЕМАТИКИ ..... 5

### ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

**Рысин А.В., Бойкачёв В.Н., Наянов А.М.**

АНАЛИЗ ПЕРСПЕКТИВНОГО ПРИМЕНЕНИЯ ПОЛОСКОВЫХ АНТЕНН ДЛЯ  
АКТИВНЫХ ФАЗИРОВАННЫХ РЕШЁТОК (АФАР) БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ  
АППАРАТОВ (БПЛА) ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ НИЗКООРБИТАЛЬНОЙ  
СПУТНИКОВОЙ СИСТЕМЫ СВЯЗИ (НССС)..... 8

### ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

**Voronkin V.A.**

DEVELOPMENT OF TASK BATCH EXECUTION OPTIMIZATION SYSTEM IN MULTI-  
STAGE SYSTEMS USING BRANCH AND BOUND METHOD ..... 31

**Адещенко К.Р.**

ИНСТРУМЕНТЫ КРОССПЛАТФОРМЕННОЙ РАЗРАБОТКИ: СРАВНИТЕЛЬНЫЙ  
АНАЛИЗ ..... 41

### АРХИТЕКТУРА, СТРОИТЕЛЬСТВО

**Баранова Н.В.**

АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ РЕНОВАЦИИ НЕЭКСПЛУАТИРУЕМЫХ  
ПРОМЫШЛЕННЫХ ЗДАНИЙ В СОВРЕМЕННОМ ГОРОДЕ ..... 50

### ЭКОЛОГИЯ, ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕ

**Терлецкая А.И.**

ЭКОЛОГИЯ ПРИМОРСКОГО КРАЯ..... 55

### МЕДИЦИНА, ФАРМАЦИЯ

**Зубадылда А.С.**

ИЗУЧЕНИЕ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ГУСТОГО ЭКСТРАКТА ЗВЕЗДАТКИ  
СРЕДНЕЙ (STELLARIA MEDIA L.) ..... 58

# МАТЕМАТИКА

**ГАПИЧ Диана Дмитриевна**

студентка, Донецкий государственный университет, ДНР, г. Донецк

*Научный руководитель – старший преподаватель*

*Донецкого государственного университета Горун Анна Юрьевна*

## РАЗВИТИЕ КРИТИЧЕСКОГО МЫШЛЕНИЯ МЛАДШИХ ШКОЛЬНИКОВ НА УРОКАХ МАТЕМАТИКИ

**Аннотация.** В статье рассматриваются понятие критического мышления и методики, которые можно применить на уроках математики для его развития.

**Ключевые слова:** критическое мышление, мышление, математика.

Человек не только осязает окружающий его мир, но и стремится понимать его. Понять – значит проникнуть в самую суть явлений и предметов, познать существенное в них. Понимание возникает благодаря сложному познавательному психическому процессу, который называется мышлением.

Мышление является способностью рассуждать, мыслить, как свойство человека. Мышление и сознание являются функциями человеческого мозга. [5, с. 582]. Так как в современном этапе научного знания значительно возрос интерес к проблеме критического мышления, то мы решили более подробно изучить именно этот процесс мышления. Так что же такое критическое мышление?

Сегодня обращаясь к различным научным источникам, можно найти разные определения термина «критическое мышление». Если обратиться к педагогическому словарю, то там мы увидим следующее понятие: «Критическое мышление – способность анализировать информацию с позиций логики, умение выносить обоснованные суждения, решения и применять полученные результаты как к стандартным, так и нестандартным ситуациям, вопросам и проблемам. Этому процессу присуща открытость новым идеям. Формирование критического мышления – одна из актуальнейших задач современного обучения» [2, с. 143].

Первым человеком, который предложил термин «критическое мышление» был Джон

Дьюи, который назвал его рефлексивным мышлением и рассматривал его следующим образом: «Активное, настойчивое и внимательное рассмотрение суждений, их оснований, а также выводов, которые из этих суждений следуют. Именно процессы сознательного выбора и организации образуют рефлексивное мышление. Основная роль этого типа мышления в обеспечении свободы» [1, с. 68].

Д. Халперн определяет критическое мышление в своей работе «Психология критического мышления» таким образом: это «направленное мышление, оно отличается взвешенностью, логичностью и целенаправленностью, его отличает использование таких когнитивных навыков и стратегий, которые увеличивают вероятность получения желательного результата» [6, с. 22].

Современное определение этого понятия нам дал Ричард Пол в 1995 году. Критическое мышление – дисциплинированное, самонаправленное мышление, которое иллюстрирует усовершенствования мысли, соответствующие к специфическому способу или области мысли [3, с. 7].

То есть таким образом мы можем сделать вывод, что критическое мышление не является принятием на веру абсолютно любого утверждения и восприятие его как инструкции к действиям, а умелое и активное осмысление, оценивание информации с помощью анализа и синтеза.

Д. Халперн в своей работе выделяет следующие критерии для выявления уровня сформированности критического мышления:

- внимательность и наблюдательность;
- анализ и синтез;
- установление причинно-следственных связей;
- умение обобщать;
- умение абстрактно мыслить [6, с. 78].

Навыки и уровень сформированности критического мышления не возникают у обучающихся сами по себе во время обучения. Для того чтобы сформировать и развить эти навыки необходимо организованная работа. Для этого существует технология развития критического мышления.

В основе технологии критического мышления находится закономерность, которая характеризуется в педагогике как вызов, осмысление, рефлексия. Данная цепочка считается обобщенной. Именно она находится в основе абсолютно всех мыслительных процессов и содействует расширению пределов ее применимости [4, с. 119].

Стадия вызова – классификация полученной вследствие свободных высказываний обучающихся информации, тут задача преподавателя состоит в стимулировании младших школьников к воспоминаниям того, что они ранее узнали по этой теме. Урегулирование мнениями учеников без конфликтов.

Абсолютно любое мнение обучающихся важно, и не рекомендуется критиковать ответы, которые дают дети.

Стадия осмысления – работа с информацией, методы и приёмы технологии критического мышления предоставляют шанс сделать поведение обучающихся наиболее действенным, слушание и чтение осмысленным.

На стадии рефлексии проводится анализ данных, далее они перефразируются и потом творчески перерабатываются.

Формы урока в ТРКМ отличаются от уроков в традиционном понимании и обучении. Обучающиеся не сидят пассивно, слушая преподавателя, а становятся главными действующими лицами урока. Они воспринимают информацию, думают и вспоминают про себя, делятся своими рассуждениями с товарищами, читают, пишут, обсуждают сделанные выводы. Роль учителя на таких уроках в основном координирующая, вспомогательная.

Для того чтобы подобрать необходимые методики для развития выбранных нами

показателей критического мышления у младших школьников, а именно: внимательность и наблюдательность, анализ и синтез, установление причинно-следственных связей, умение обобщать, нами был проведен констатирующий этап эксперимента. Для первичной диагностики уровней сформированности навыков нами были подобраны тесты:

- для диагностики наблюдательности использовали тест на наблюдательность и внимательность, цель которого установить уровень наблюдательности и внимания у людей разного возраста, задача теста находится в поиске чисел от 1 до 90 самым быстрым способом; цифры расположены в хаотичном порядке и разного размера, уровень наблюдательности определяется в зависимости от времени решения данной задачи;

- для диагностики способности к анализу и синтезу выбран метод «Простые аналогии», целью которого является изучение способности к анализу и синтезу предметов и действий, автор Вильям Гордон; данная диагностика заключается в том, что испытуемому необходимо выполнить анализ пары слов, которые размещены слева; анализ заключается в том, что происходит установление логической связи между этими словами; из слов, которые расположены справа нужно построить пару, выбрав нужное для них понятие;

- для диагностики умения устанавливать причинно-следственные связи нами был выбран тест «Закончи предложение», целью которого является нахождение уровня умения устанавливать причинно-следственные связи между явлениями и предметами; автор Сакс-Леви; данный тест предназначен для того, чтобы испытуемый смог продолжить идею предложения, которое было ему озвучено;

- для определения навыка обобщения использовалась методика «Исключение лишнего», цель которой изучение способности к обобщению; автор Амтхауэр; в данной методике испытуемому необходимо выбрать одно слово, которое, по его мнению, является лишним среди четырёх предложенных/

По результатам диагностики критического по четырем методикам можно прийти к выводу, что уровень наблюдательности у учащихся – низкий; уровень умения проводить анализ и синтез – низкий; уровень установления причинно-следственных связей – средний; уровень способности к обобщению – средний.

На основе полученных нами итогов для развития критического мышления будем применять следующие приемы: прием «Составление кластера», приём «Верные и неверные утверждения» или «верите ли вы», прием «Толстые и тонкие вопросы», прием «Инсерт» и прием «Зигзаг» или «Отсюда – туда». Эти приёмы будут включены в систему уроков математики на протяжении формирующего этапа эксперимента. По окончании эксперимента нами вновь будут проведены те же самые методики для сравнения результатов.

#### Литература

1. Дьюи Д. Психология и педагогика мышления. М.: Совершенство, 1993, 187 с.
2. Коджаспирова Г.М. Педагогический словарь. М.: Академия, 2005. 176 с.
3. Пол Р.У. Критическое мышление: Что необходимо каждому для выживания в быстро меняющемся мире / Центр критического мышления и морального критического анализа Государственного Университета Sonoma. Rohnert Park. 1990. 571 с.
4. Реан А.А. Психология и педагогика. СПб.: Питер, 2002. 432 с.
5. Толковый словарь русского языка: современная редакция; под ред. Д. Н. Ушакова. М.: Дом Славянской кн., 2008. 959 с.
6. Халперн Д. Психология критического мышления. СПб.: Питер, 2000. 512 с.

**GAPICH Diana Dmitrievna**

Student, Donetsk State University, DNR, Donetsk

*Scientific Advisor – Senior lecturer at Donetsk State University Gorun Anna Yurievna*

## DEVELOPMENT OF CRITICAL THINKING OF JUNIOR HIGH SCHOOL STUDENTS IN MATH LESSONS

**Abstract.** *The article discusses the concept of critical thinking and techniques that can be applied in maths lessons to develop it.*

**Keywords:** *critical thinking, thinking, mathematics.*



# ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

**РЫСИН Андрей Владимирович**

радиоинженер, АНО «НТИЦ «Техком», Россия, г. Москва

**БОЙКАЧЁВ Владислав Наумович**

директор, кандидат технических наук, АНО «НТИЦ «Техком», Россия, г. Москва

**НАЯНОВ Алексей Михайлович**

начальник сектора, АНО «НТИЦ «Техком», Россия, г. Москва

## АНАЛИЗ ПЕРСПЕКТИВНОГО ПРИМЕНЕНИЯ ПОЛОСКОВЫХ АНТЕНН ДЛЯ АКТИВНЫХ ФАЗИРОВАННЫХ РЕШЁТОК (АФАР) БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ (БПЛА) ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ НИЗКООРБИТАЛЬНОЙ СПУТНИКОВОЙ СИСТЕМЫ СВЯЗИ (НССС)

**Аннотация.** Результаты военных действий с применением БПЛА показали, что эффективность управления БПЛА и передача информации зависят от помехозащищённости. В этом случае, помимо многофункционального применения и помехозащищённого протокола связи, эффективным способом защиты является использование как можно более широкого диапазона частот, что затрудняет создание эффективной помехи. Например, радио интерфейс, определённый 3GPP для 5G, известен как New Radio (NR), а спецификация подразделяется на две полосы частот: FR1 (600–6000 МГц) и FR2 (24–100 ГГц). Диапазон частот от 600–6000 МГц является наиболее освоенным и при частотах выше 1 ГГц возможно использование АФАР на полосковых излучателях (патч). Следует отметить, что переход на АФАР позволяет концентрировать энергию сигнала в нужном направлении и затрудняет обнаружение по боковым лепесткам диаграммы направленности антенны (ДНА) средствами радиотехнической разведки (РТР). Кроме того, на современном этапе для улучшения помехозащищённости и затруднения уничтожения командных пунктов управления (КПУ) используется передача и приём сигнала через космические аппараты (КА), что также требует применения АФАР. В статье представлен анализ перспективного применения полосковых антенн для АФАР до 12 ГГц.

**Ключевые слова:** беспилотный летательный аппарат, активная фазированная решётка, радио-модуль, цифровая фазовая автоподстройка частоты, космический аппарат.

При подавлении радиоэлектронных средств связи с помощью средств радиоэлектронной борьбы (РЭБ) на начальном этапе происходит определение несущих частот работы. Этот диапазон несущих частот сигналов может находиться в районе от сотен мегагерц до десятков гигагерц. Отсюда требование логического деления диапазона АФАР на БПЛА. В [1-9] мы показали принципы создания и обработки сигнала в АФАР в диапазоне от 250 МГц до 3 ГГц на

основе предлагаемых унифицированных радио-модулей и полосковых антенн на патч. Кроме того, в АНО «НТИЦ «Техком» были проведены первые эксперименты по созданию отладочного радио-модуля в данном диапазоне частот (рис. 1) ещё в мае 2017 года, а годом ранее также была испытана АФАР в безэховой камере с необходимой ДН (рис. 2) в диапазоне 2,7-2,9 ГГц. Полученные испытания подтвердили теоретические выкладки.

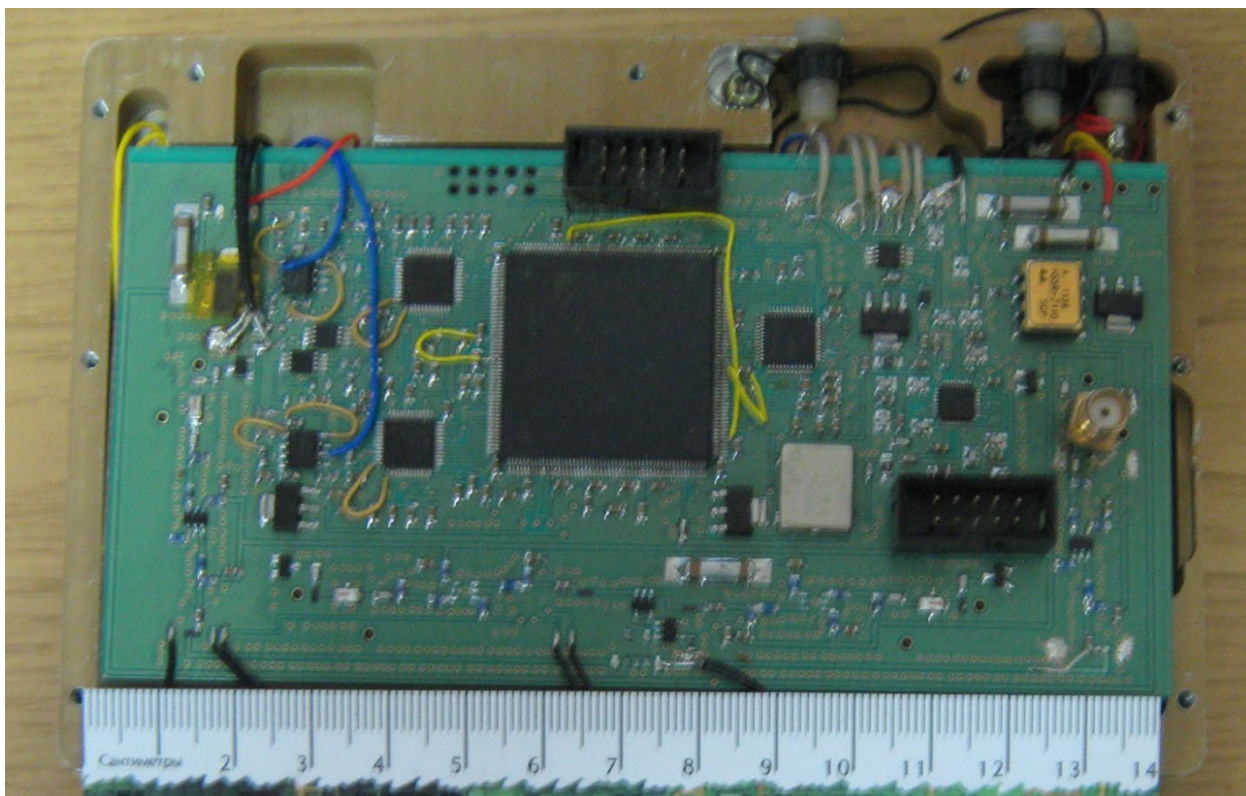


Рис. 1. Первый образец мобильного устройства для абонентов

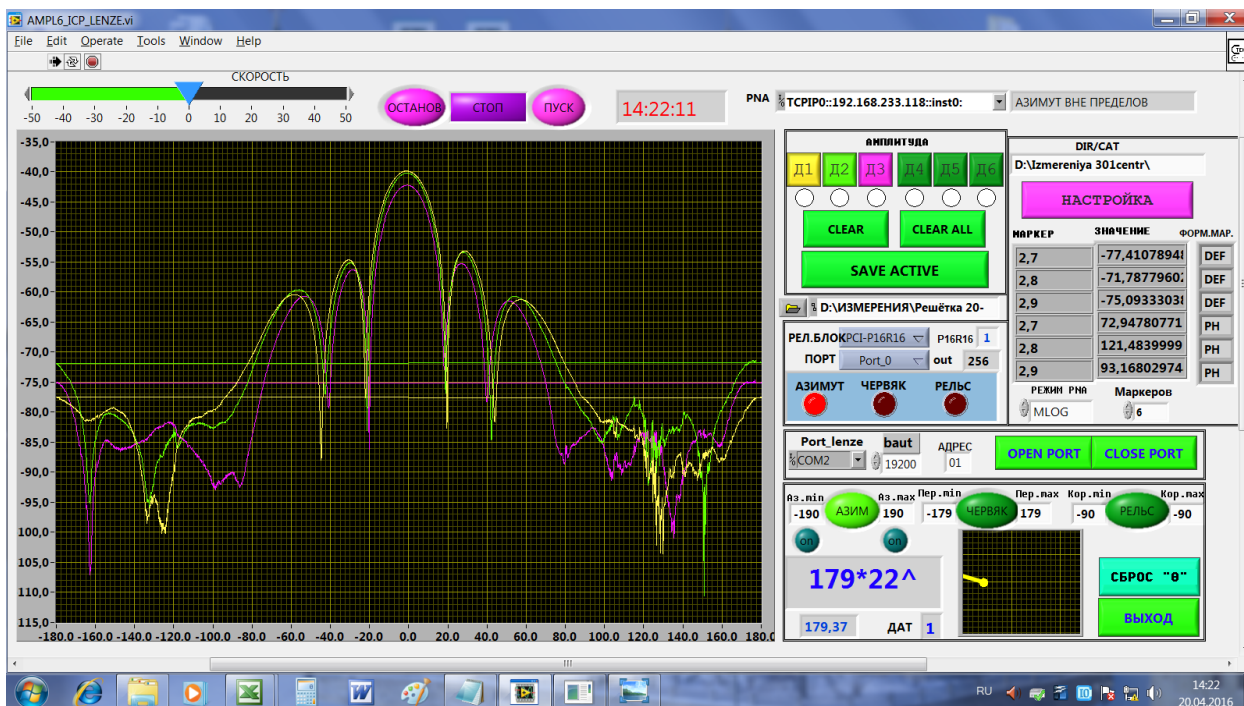


Рис. 2. Диаграмма направленности АФАР в относительных единицах измерения

Кроме того, исходя из практических результатов известно, что при чувствительности минус 67 дБм обеспечивается минимальное значение для всех услуг связи, которые требуют бесперебойного и надежного обмена данными, минус 70 дБм – сигнал достаточный для выхода в интернет, прочтения электронной почты и

новостей. Поэтому, на рисунке 3 и 4 приведено выделение частоты Доплера и сигнала в 38 Мбит/сек при минус 86 дБм для пробного макета радио-модуля, исходя из того, что минус 80 дБм это минимальное значение для подключения.

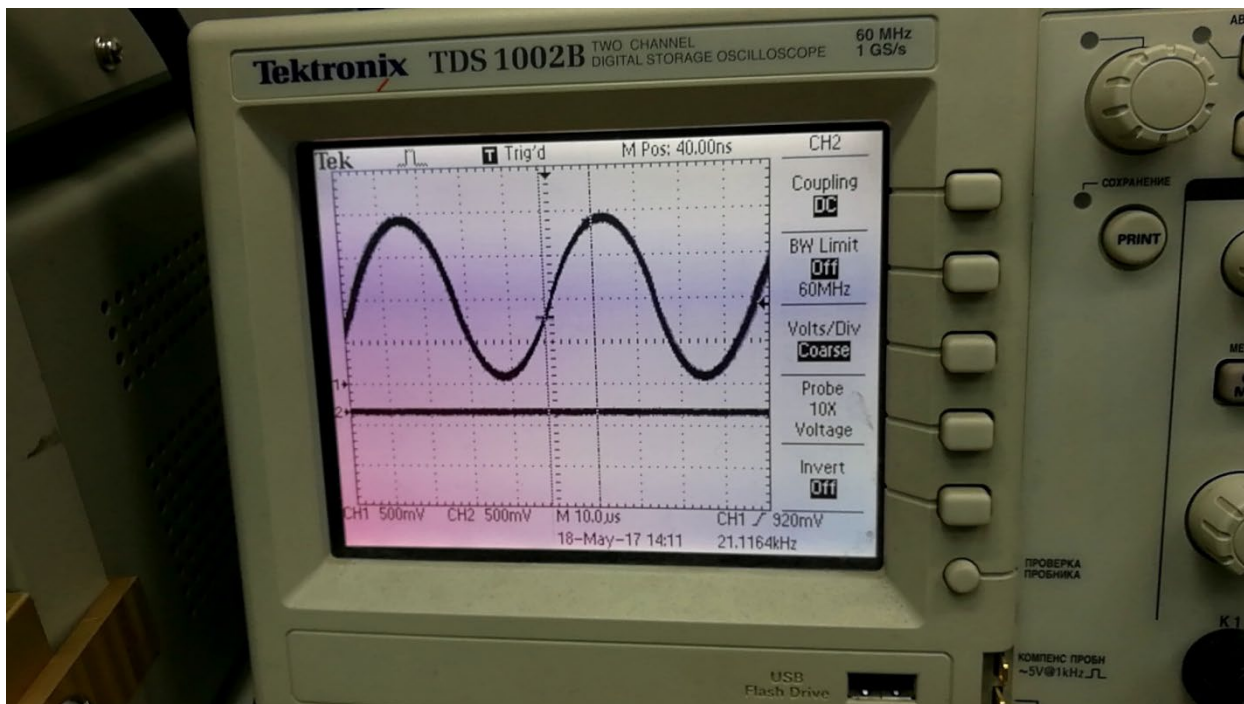


Рис. 3. Выделенная частота доплеровского смещения при приеме на уровне сигнала на входе минус 86 дБм

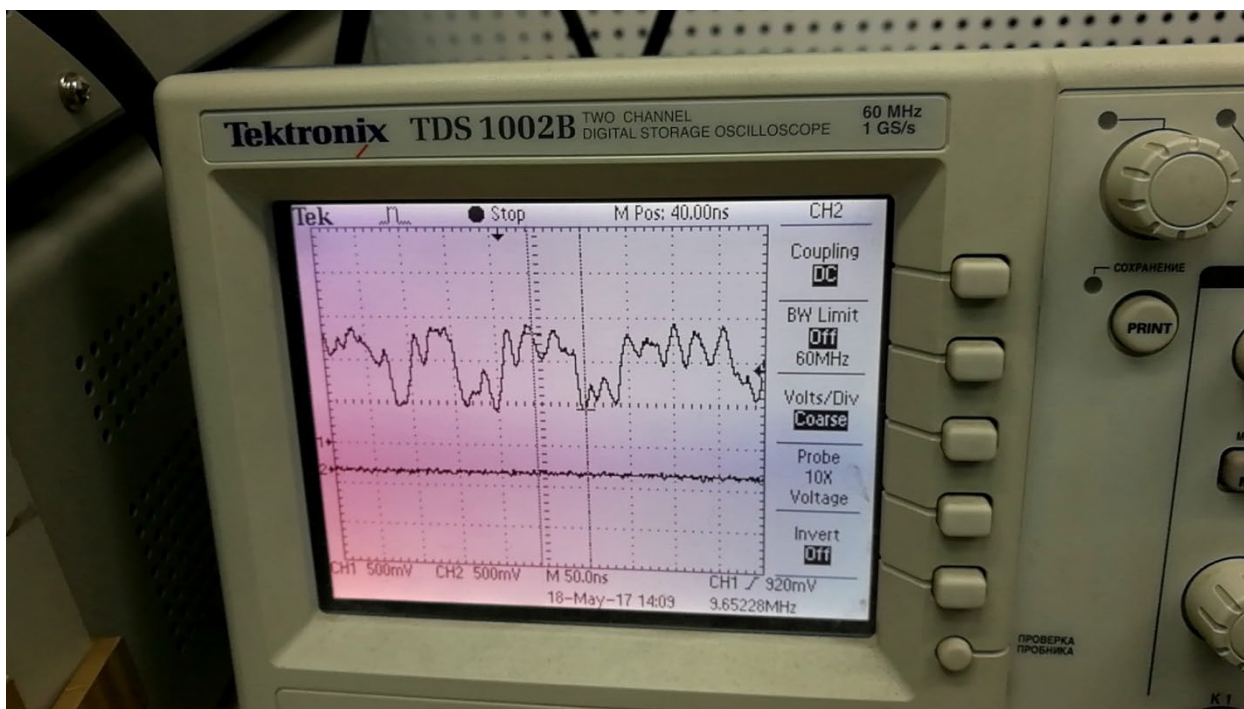


Рис. 4. Вид сигнала на входе АЦП при приеме 38 Мбит/сек на уровне сигнала на входе минус 86 дБм

Было также получено и видеоизображение, что показано на рисунке 5.

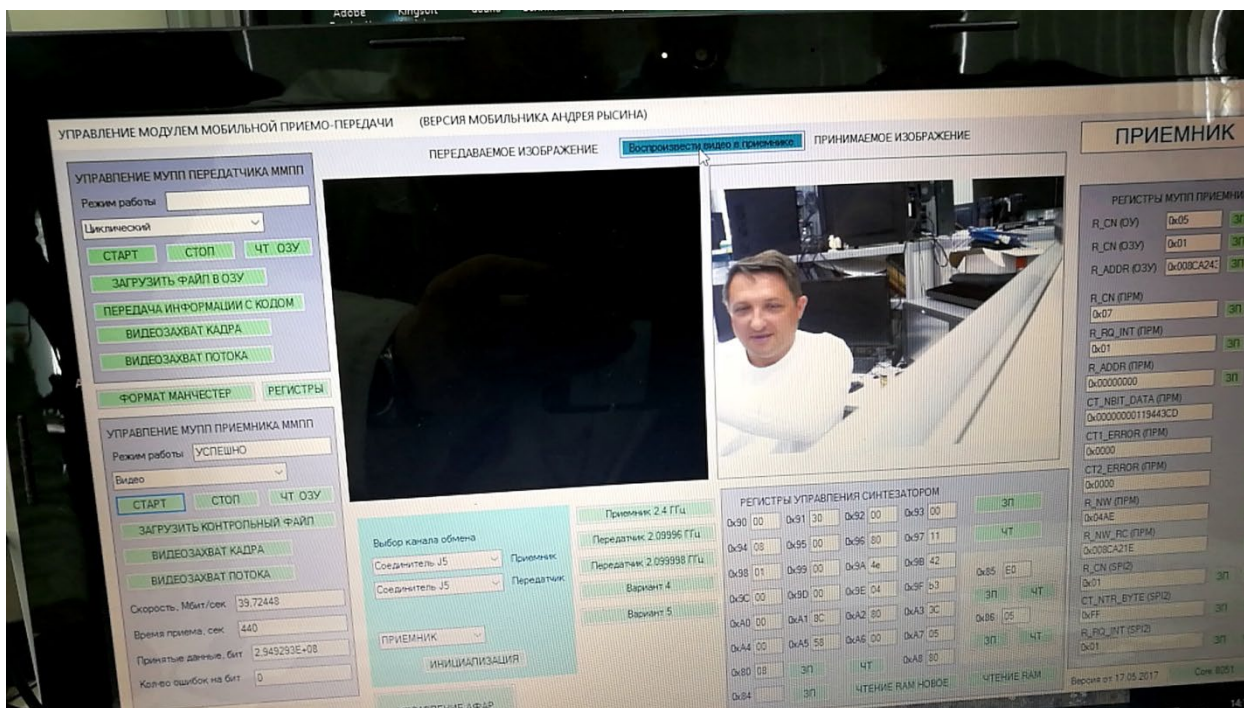


Рис. 5. Результаты принятия видеоизображения

Собственно, исходя из полученных результатов с отсутствием альтернативы у таких корпораций как «Роскосмос», «Космические системы связи», «Ростех», ФГУБ НИИР, Минцифры, и других подобных организаций оставалось лишь продолжить указанные работы с выделением необходимых средств под пилот-проект, что не требовало больших денежных затрат. Однако данные организации заняли совсем противоположную позицию и отказали в выделении государственных денег. Они заявили, что данный проект является недоработанным и ГКРЧ РФ даже не выделила необходимых радиочастот частот под данный пилот проект даже под минимально возможное продолжение работ, о чём нам неоднократно было сообщено через администрацию Президента РФ (последний ответ был на наше обращение в

Администрацию РФ от 2.02.23 г. № А26-02-13402032–СО1). Иными словами, здесь уместно вспомнить известную басню Эзопа: «Однажды лисица увидела сочный и спелый виноград, но не смогла достать его, тогда она заявила, что он зелен». При этом данные организации утверждали, что для низкоорбитальных спутниковых систем связи разработанный нами вариант работать не будет.

И вот теперь через 7 лет выясняется, что аналогичная связь через НССС была опробована в наши дни операторами «Starlink» для связи со смартфонами с передачей сигнала порядка 17 Мбит/сек [10]. Результаты приёма сигнала со спутника на прямую на не модифицированный смартфон Samsung с Android показан на рисунке 6.

```

Connecting to host 172.20.1.1, port 5201
Reverse mode, remote host 172.20.1.1 is sending
[ 5] local 172.23.0.113 port 59256 connected to 172.20.1.1 port 5201
[ ID] Interval          Transfer      Bitrate      Jitter      Lost/Total Datagrams
[ 5] 0.00-1.00 sec      1.93 MBytes  16.2 Mbits/sec  0.901 ms   0/1502 (0%)
[ 5] 1.00-2.00 sec      2.02 MBytes  16.9 Mbits/sec  1.059 ms  272/1842 (15%)
[ 5] 2.00-3.00 sec      2.04 MBytes  17.1 Mbits/sec  1.228 ms  272/1856 (15%)
[ 5] 3.00-4.00 sec      1.94 MBytes  16.2 Mbits/sec  1.338 ms  259/1765 (15%)
[ 5] 4.00-5.00 sec      1.86 MBytes  15.6 Mbits/sec  1.211 ms  492/1936 (25%)
[ 5] 5.00-6.00 sec      2.04 MBytes  17.1 Mbits/sec  1.340 ms  273/1863 (15%)
[ 5] 6.00-7.00 sec      2.03 MBytes  17.0 Mbits/sec  1.180 ms  282/1862 (15%)
[ 5] 7.00-8.00 sec      2.05 MBytes  17.2 Mbits/sec  0.911 ms  252/1848 (14%)
[ 5] 8.00-9.00 sec      2.04 MBytes  17.1 Mbits/sec  1.202 ms  291/1877 (16%)
[ 5] 9.00-10.00 sec     2.05 MBytes  17.2 Mbits/sec  1.041 ms  242/1833 (13%)
[ 5] 10.00-11.00 sec    2.03 MBytes  17.0 Mbits/sec  1.319 ms  294/1870 (16%)
[ 5] 11.00-12.00 sec    2.03 MBytes  17.0 Mbits/sec  1.459 ms  263/1840 (14%)
[ 5] 12.00-13.00 sec    2.05 MBytes  17.2 Mbits/sec  0.907 ms  191/1784 (11%)
[ 5] 13.00-14.00 sec    1.93 MBytes  16.2 Mbits/sec  0.835 ms  419/1921 (22%)
[ 5] 14.00-15.00 sec    2.04 MBytes  17.1 Mbits/sec  0.931 ms  281/1866 (15%)
[ 5] 15.00-16.00 sec    2.05 MBytes  17.2 Mbits/sec  1.214 ms  265/1857 (14%)
[ 5] 16.00-17.00 sec    2.03 MBytes  17.0 Mbits/sec  1.315 ms  251/1827 (14%)
[ 5] 17.00-18.00 sec    2.04 MBytes  17.1 Mbits/sec  1.412 ms  281/1870 (15%)
[ 5] 18.00-19.00 sec    2.04 MBytes  17.1 Mbits/sec  1.359 ms  269/1859 (14%)
[ 5] 19.00-20.00 sec    2.05 MBytes  17.2 Mbits/sec  0.952 ms  253/1851 (14%)
[ 5] 20.00-21.00 sec    2.02 MBytes  17.0 Mbits/sec  1.208 ms  269/1842 (15%)
[ 5] 21.00-22.00 sec    2.04 MBytes  17.1 Mbits/sec  0.890 ms  270/1857 (15%)
[ 5] 22.00-23.00 sec    2.02 MBytes  16.9 Mbits/sec  0.962 ms  280/1851 (15%)
[ 5] 23.00-24.00 sec    2.02 MBytes  17.0 Mbits/sec  1.145 ms  295/1867 (16%)
[ 5] 24.00-25.00 sec    2.02 MBytes  16.9 Mbits/sec  0.977 ms  281/1849 (15%)
[ 5] 25.00-26.00 sec    2.02 MBytes  16.9 Mbits/sec  0.896 ms  275/1844 (15%)
[ 5] 26.00-27.00 sec    2.01 MBytes  16.9 Mbits/sec  1.474 ms  315/1881 (17%)
[ 5] 27.00-28.00 sec    1.92 MBytes  16.1 Mbits/sec  1.210 ms  352/1846 (19%)
[ 5] 28.00-29.00 sec    2.05 MBytes  17.2 Mbits/sec  1.600 ms  275/1866 (15%)
[ 5] 29.00-30.00 sec    1.93 MBytes  16.2 Mbits/sec  1.181 ms  342/1842 (19%)
-----
[ ID] Interval          Transfer      Bitrate      Jitter      Lost/Total Datagrams
[ 5] 0.00-30.10 sec    71.8 MBytes  20.0 Mbits/sec  0.000 ms   0/55815 (0%) sender
[SUM] 0.0-30.1 sec    255 datagrams received out-of-order
[ 5] 0.00-30.00 sec    60.3 MBytes  16.9 Mbits/sec  1.181 ms  8356/55274 (15%) receiver
    
```

Рис. 6. Результаты передачи со спутника Starlink напрямую на смартфон

В ходе замеров параметров канала передачи данных использовался диапазон 4G/LTE, предоставленный T-Mobile US. DTC-спутники Starlink оснащены специальными фазированными антенными решётками с приёмниками высокой чувствительности и мощными передатчиками, что позволяет им улавливать сигналы от антенн мобильных телефонов, предназначенных для подключения к наземным базовым станциям. Илон Маск считает, что DTC «значительно меняет правила игры», устраняя мёртвые зоны сотовой связи, при этом, не

конкурируя с наземными сетями. Технология обеспечивает услуги голосовой и текстовой связи, а также передачи данных в отдалённых районах без наземной инфраструктуры. Инженер SpaceX Бен Лонгмьер, один из руководителей программы Starlink Direct to Cell, подтвердил, что команда размещает сообщение на X через спутники Starlink. К своему посту он прикрепил фото тропы в горах Санта-Крус (рис. 7), где нет сотовой связи с обычными провайдерами, и откуда шла передача данных через Direct to Cell.



Рис. 7. Картинка изображения, полученная при передаче со скоростью 17 Мбит/сек

Как известно диапазон 4G/LTE используемый в России при Band 7 составляет 2620–2690 МГц. При этом полоса пропускания составляет 70 МГц. Мы просили полосу в 38 МГц в этом же диапазоне частот, что, собственно, позволяло бы совмещать возможности сотовой и космической связи.

С учётом сказанного для сравнения оценим предлагаемые нами варианты с тем, что уже получено операторами «Starlink», так как результат получения изображений в реальном масштабе времени через низкоорбитальную спутниковую связь с учётом распознавания и искусственного интеллекта открывает

возможности уничтожения любых объектов и на больших дальностях. При этом нет необходимости иметь устойчивую космическую связь с наличием изображения в течение всего времени полёта, достаточно иметь её на конечном промежутке времени в момент нанесения поражения цели. На протяжении всего полёта есть необходимость только в навигационных данных. Проведём необходимые расчёты исходя из варианта группировки в 98 космических аппаратов (КА) на орбитах на высоте порядка 650 км [11, с. 21–85]. При этом КА имеет оптимизацию параметров по наличию антенн по рисунку 8.

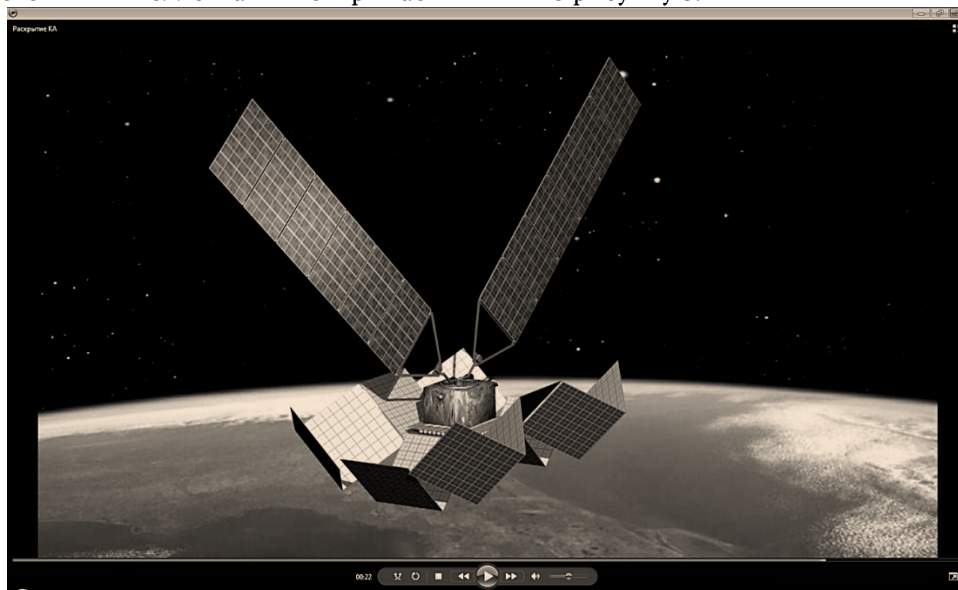
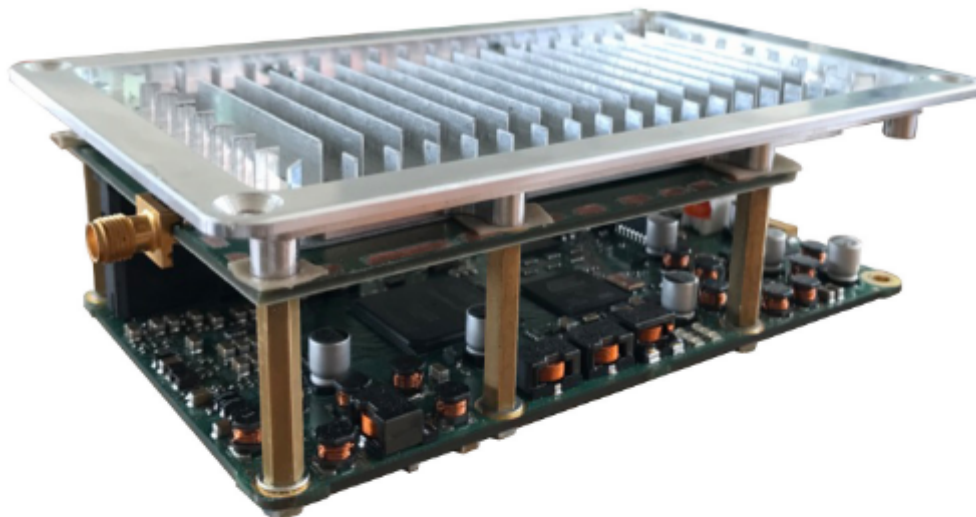


Рис. 8. Пример модели спутника для реализации способа навигации и связи при группировке в 98 КА с расположением 15 антенн для обзора пятна на Земле (диаметр 4852 км при высоте 650 км) в секторе 360 градусов по углу азимута и 150 градусов по углу места

Оценим необходимую полосу пропускания при использовании антенны предлагаемого радио-модуля, который устанавливается на БПЛА сверху для связи с КА на низких орбитах. При расчётах будем исходить из известных аналогов и прототипов. Вначале выберем

коэффициент усиления антенны мобильного устройства типа смартфона размерами порядка 14 см×7 см. Надо отметить, что для связи с БПЛА малого радиуса действия сейчас предлагается использовать радио-модуль, показанный на рисунке 9.



Размер, включая радио-модуль (мм): 140x80x40;  
Вес (гр): 150;

Максимальная мощность (Вт): 0.3;  
Диапазон частот (МГц): 3400-3600 полоса до 28 МГц  
Временной дуплекс с изменяемым соотношением  
восходящего и нисходящего трафика  
Полоса частот (МГц): 7,14,28;  
Чувствительность/скорость для полосы (МГц): 7;

ШПС = -105 дБм / 550 кбит в секунду  
QPSK 1/2 = -88 дБм / 4500 кбит в секунду  
QPSK 3/4 = -85 дБм / 6750 кбит в секунду  
QAM16 1/2 = -81 дБм / 9000 кбит в секунду  
QAM16 3/4 = -77 дБм / 13500 кбит в секунду  
QAM64 2/3 = -73 дБм / 18000 кбит в секунду

*Рис. 9. Радио-модуль БПЛА для связи на малых дальностях*

При таких размерах на поверхности предлагаемого радио-модуля в диапазоне 2,7 ГГц может разместиться порядка двух излучателей (патч). При этом нам известен аналог антенны

на 4 патч с воздушным заполнением по рисунку 10 с коэффициентом усиления в 14,5 дБ при КСВ равным 1,2, в диапазоне 2,35 ГГц-2,55 ГГц [12].

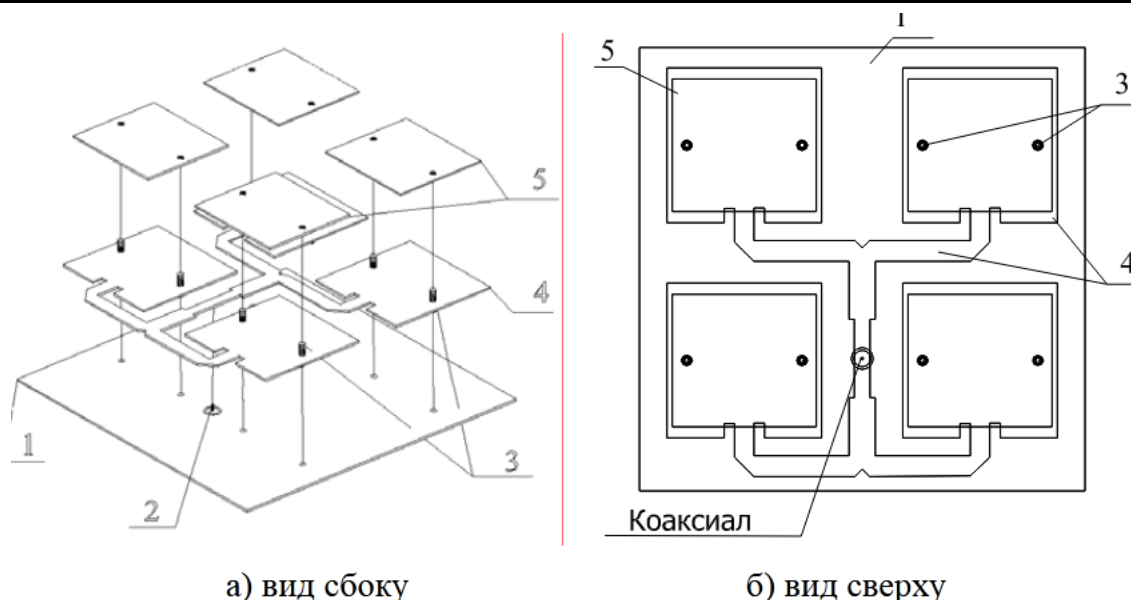


Рис. 10. Антенна АФАР из 4-х элементов с воздушным заполнением

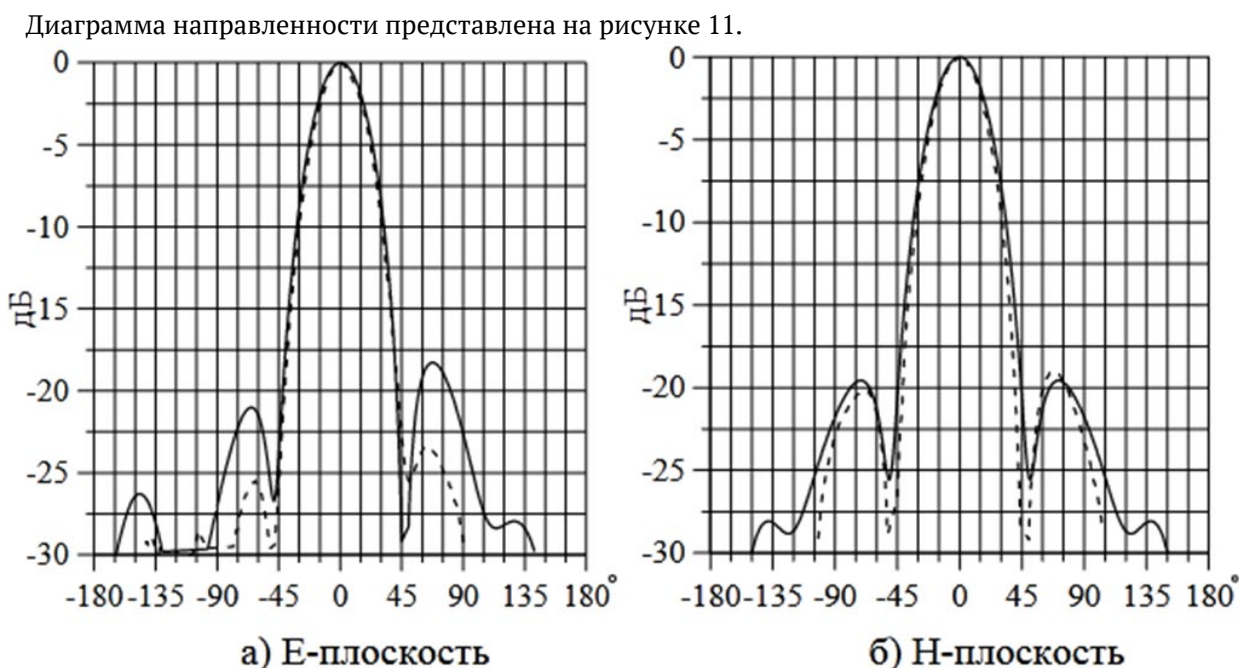


Рис. 11. Антенна из 4-х элементов патч, моделирование – это сплошные линии, штриховые линии – это экспериментальные с шириной диаграммы направленности в 34 градуса

Отсюда с учётом уменьшения количества патч в 2 раза (3 дБ) можно выбрать коэффициент усиления антенны порядка  $G_{аб}=14,125$  (11,5 дБ). Так как нами в КА используются 15 антенн и каждая содержит 256 патч [11], то достижимый максимум будет равняться  $G=14,5$  дБ (28,18 раз) + 18 дБ (64 раз)=32,5 дБ. В соответствии с этим будем считать коэффициент усиления антенны КА  $G_{ка}=1000$  (30 дБ). Надо отметить, что в низкоорбитальных спутниковых системах связи Iridium, Globalstar, One Web, Starlink используются многочастотные режимы, что в усилителях мощности требует

использование линейного режима («А»), но при этом снижается коэффициент полезного действия (КПД) в потребляемой мощности по сравнению с режимом («В») [13, с. 235]. То есть, КПД выше при работе на одной частоте в усилителях мощности в режиме («В») вместо режима («А»), и это повышает коэффициент полезного действия усилителей мощности, работающих в режиме «В» (78%) в 1,625 раза больше, чем в режиме «А» (30%–48%). Собственно это видно по усилителям мощности стоящих в антенне КА Globalstar, которые выдают в многочастотном режиме 4,5 Вт, а в одночастотном режиме



выдавали бы  $4,5 \text{ Вт} \times 1,625 = 7,3 \text{ Вт}$ , при том же энергетическом потреблении, то есть, столько же, сколько мобильное устройство Iridium. В [9, с. 9-35] мы использовали в предлагаемом радио-модуле четыре усилителя мощности для получения круговой поляризации с исходной мощностью одного усилителя в 1 Вт, но с учётом использования режима «В» мы можем повысить мощность при работе в дальней зоне в одночастотном режиме с 1 Вт до 1,625 Вт. В этом случае общая излучаемая мощность составит 6,5 Вт. Это меньше, чем мощность излучения мобильного устройства Iridium, которая составляет 7 Вт с учётом потерь в антенне. Оценим полосу пропускания по восходящей линии от мобильного устройства до КА с учётом наклонной дальности  $D=1400 \text{ км}$ . По нисходящей линии от КА до абонента мы можем повысить мощность излучения кратно, поэтому выбираем худший вариант по восходящей линии. При этом мы учитываем, что испытания для «Starlink» проводились с поддержанием подключения мобильных телефонов через

спутники Starlink которые находятся на орбите 360 км, что примерно на 200 км ниже их рабочей высоты. Напомним, что предполагаемое количество спутников «Starlink» составляет 12000. С учётом высоты полёта наших КА в 650 км это соответствует угловому обзору пятна на Земле порядка  $\pm 60$  градусов. Если необходимо обеспечить полное покрытие, то количество спутников по мере необходимости может быть увеличено. Считаем несущую частоту равной  $f = 2,7 \text{ ГГц}$  ( $\lambda = 0,111 \text{ м}$ ) с мощностью передатчика в импульсе  $P_{\text{прд}} = 6,5 \text{ Вт}$  (здесь учитывается, что работа передатчика мобильного устройства будет происходить на последнем участке), выберем отношение сигнал/шум  $q=26$  (вероятность ошибки для ФКМ сигнала  $10^{-6}-10^{-7}$  [14]. Для «Starlink» потери информации в передаваемом пакете при 17 мбит/сек составили 15%, что равносильно вероятности ошибки порядка  $10^{-2}$ . Отсюда при шумовой температуре  $T_{\text{ш}}=600 \text{ К}$ , необходимая полоса частот мобильного устройства для возможного приёма сигнала вычисляется по формуле:

$$F_{\text{прм}} = P_{\text{ка}} \times G_{\text{ка}} \times G_{\text{аб}} \times \lambda^2 / [(4 \times \pi)^2 \times q \times k \times T_{\text{ш}} \times D^2] \\ = 6,5 \times 1000 \times 14,125 \times (0,111)^2 / [(4 \times \pi)^2 \times 26 \times 1,38 \times 10^{-23} \times 600 \times (1,41 \times 10^6)^2] = 16,63 \text{ МГц.} \quad (1)$$

Здесь  $k$  – постоянная Больцмана.

Иными словами, мы имеем аналогичные характеристики по скорости передачи информации, но наш вариант обеспечивает лучшие характеристики для приёма и передачи изображений по сравнению с результатами, полученными в «Starlink» даже для одного мобильного устройства размерами со смартфон, так как вероятность ошибки значительно меньше при связи на большей дальности. Понятно, что на БПЛА может устанавливаться АФАР, состоящая из нескольких мобильных устройств

предлагаемых радио – модулей [9, с. 9-35]. В этом случае возможная полоса пропускания растёт пропорционально количеству используемых в АФАР патч и количеству используемых усилителей мощности. Так как предлагаемые радио-модули являются многофункциональными и могут замещать функции навигаторов на БПЛА, то произведём соответствующее сравнение с используемым помехозащищённым навигатором «Каскад-4М» представленным на рисунке 12.

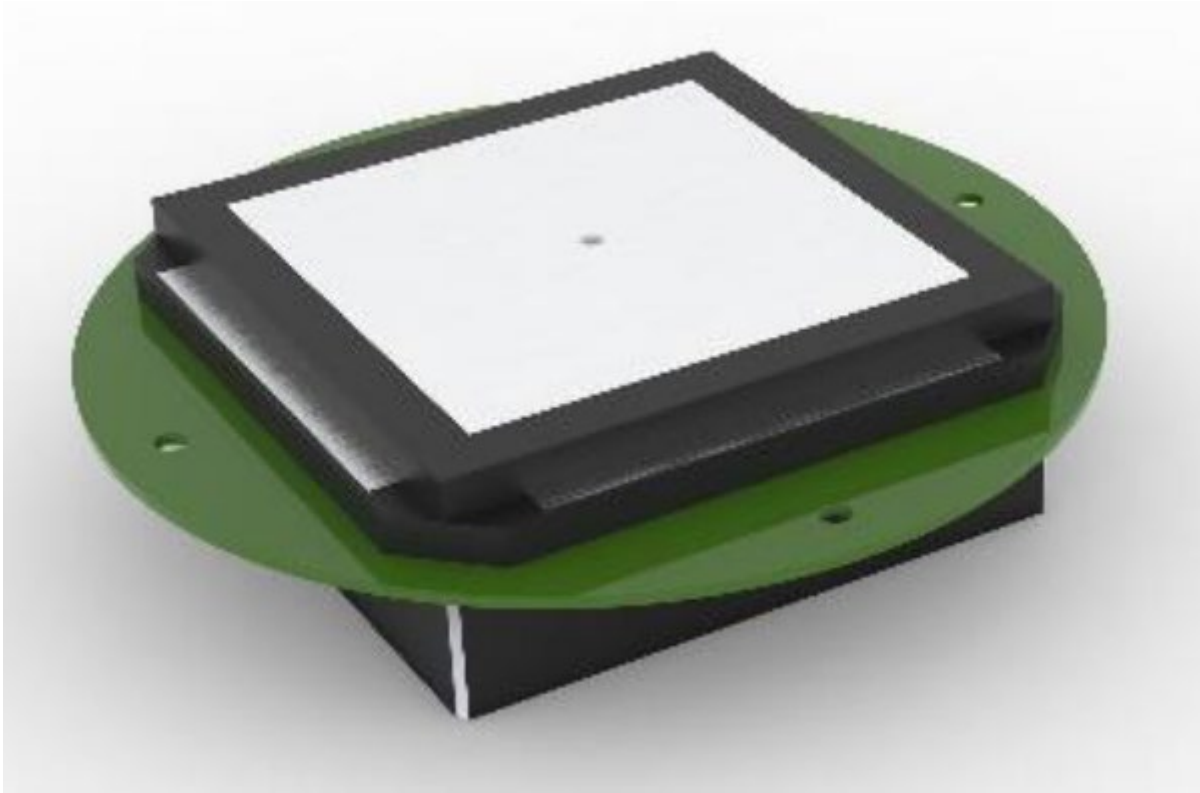


Рис. 12. Навигационный приёмник «Каскад-4М» размерами 13см×13см×2,2см, при энергопотреблении в 6 Вт, и весе 250 г

Предлагаемый радио-модуль состоит из двух плат размерами 14см×7см×2см, что показано на рисунках 13 и 14.

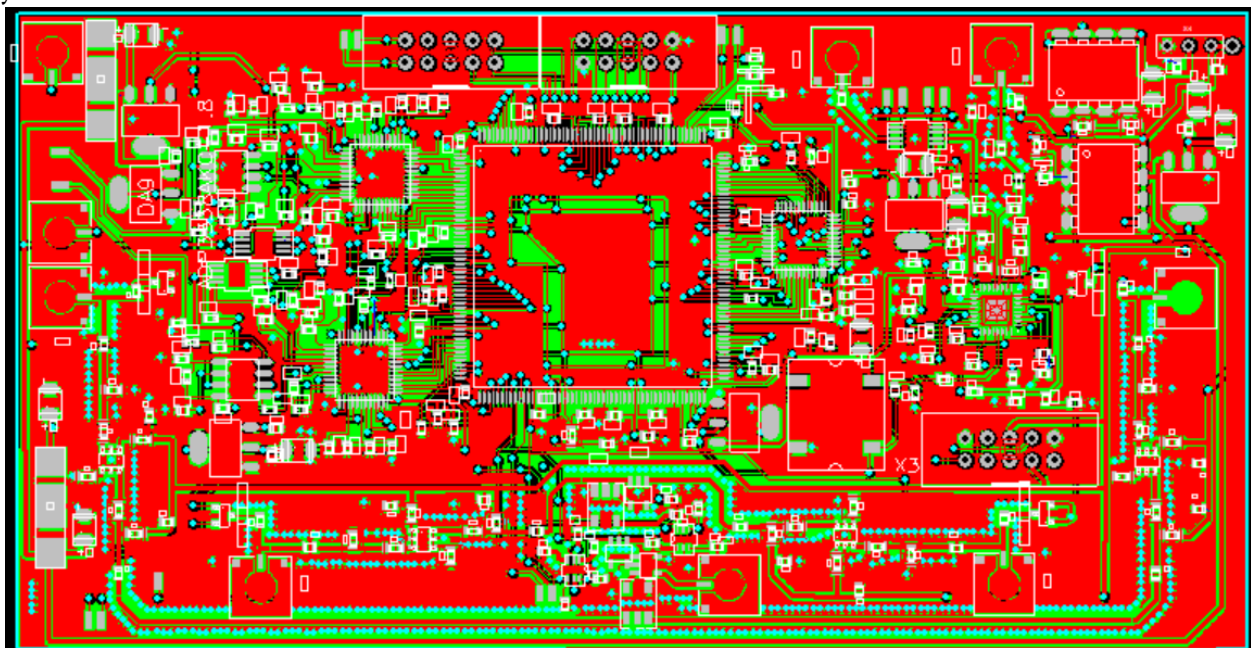


Рис. 13. Отладочная плата № 1 предлагаемого радио-модуля

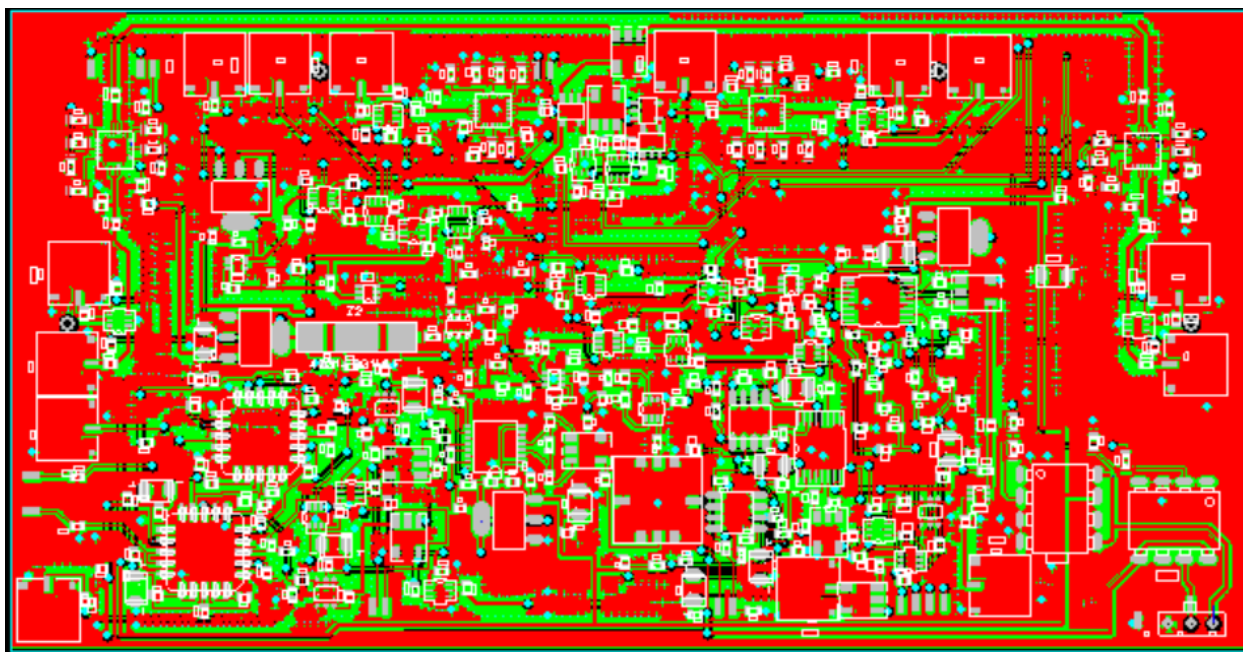


Рис. 14. Отладочная плата № 2 предлагаемого радио-модуля

При этом платы образуют общий модуль согласно рисунку 15.

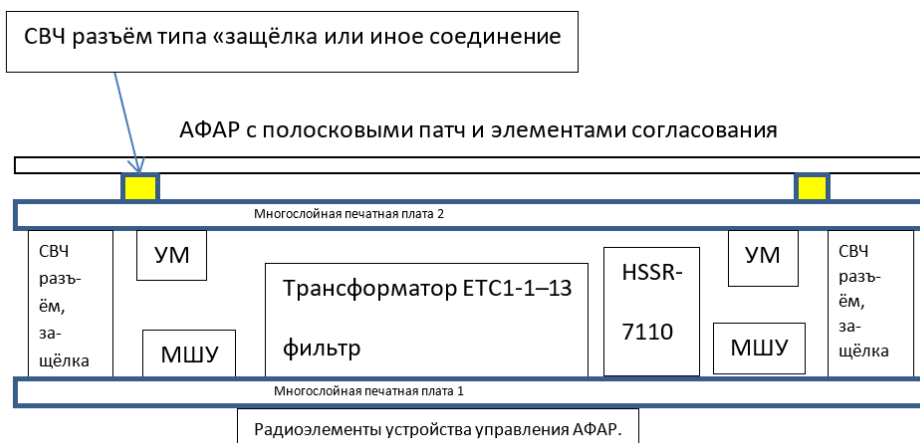


Рис. 15. Конструкция с боку предлагаемого радио-модуля с размерами 14см×7см×2см

Для обеспечения круговой поляризации с учётом наличия двух патч было

предложено расположение усилителей по рисунку 16.

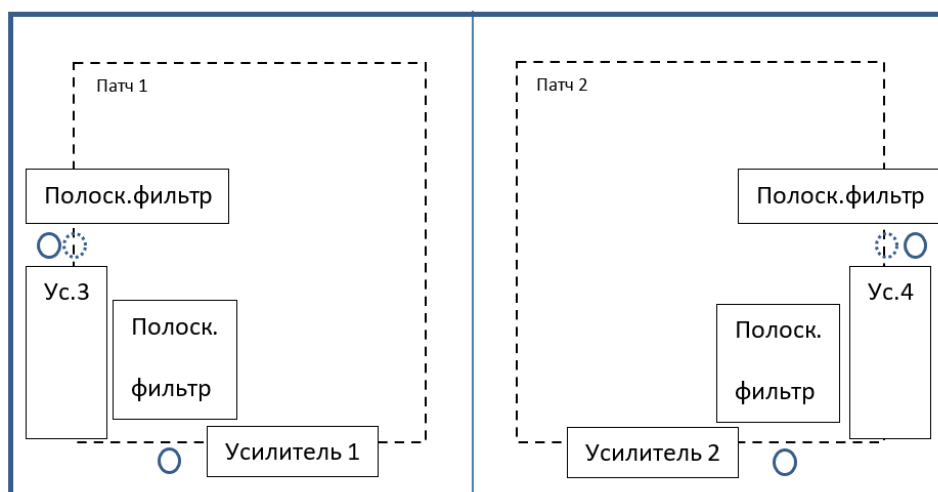


Рис. 16. Размещение усилителей на платах с наличием согласования с патч-элементами антенны

Однако мы здесь представляем отладочные двусторонние печатные платы без использования многослойных печатных плат, которые существенно позволяют сократить габаритные размеры и довести их до величины 13см×6,5см. В этом случае у нас, при тех же размерах по сравнению с навигатором «Каскад-4М», появляются функции АФАР, состоящей из двух радио-модулей, и выполняются функции навигатора за счёт группировки низкоорбитальных КА, с улучшением помехозащищённости при ответно-запросной навигационной системе за счёт изменения радиотехнических параметров. Есть возможности использования режима дуплекса с учётом использования промежуточной частоты. При этом за счёт увеличения общего коэффициента усиления АФАР на БПЛА в 2 раза (14,5 дБ) и общей мощности усилителей в 1 Вт (общая 8 Вт) мы можем иметь скорость передачи информации по формуле (1) в 41 Мбит/сек, что соответствует оптимальным радиотехническим параметрам, выбранным по [1-9]. Таким образом, мы можем размещать вместо навигационного приёмника «каскад-4М» на БПЛА активную фазированную решётку (АФАР), которая в самом худшем случае состоит из двух радио-модулей с расширением и улучшением характеристик.

Соответственно, предлагаемая конструкция симметричного размещения усилителей и разнесения усилителей мощности (УМ) и малошумящих усилителей (МШУ) на две платы исключает дополнительный нагрев МШУ. При этом с учётом габаритных размеров смартфона с

использованием двух патч, наличием любой поляризации даёт значительный выигрыш, по энергетическому потенциалу, по чувствительности и по помехозащищённости, что было подробно рассмотрено в [1-9].

Как мы отмечали ранее, радио интерфейс, определённый 3GPP для 5G, известный как New Radio (NR), имеет полосу частот: FR1 (600–6000 МГц).

В соответствии с этим необходимо рассмотреть вариант создания предлагаемых радио-модулей и для диапазона частот в 6000 МГц, что возможно, если учесть, что данный диапазон частот используется и для современных микросхем, типа AD9361 которые выполняют функцию приёмопередатчика при размерах в 1 см по длине и ширине. Понятно, что данный вариант потребует радио элементную базу в данном диапазоне частот, однако в остальном можно обойтись той же функциональной схемой, радио-модулей, которая использовалась до 3 ГГц. Для решения проблемы повышения несущих частот в АФАР до 5–6 ГГц с использованием унифицированных радио-модулей фиксированного размера (13см×6,5см) без учёта будущей микроминиатюризации радиоузлов, мы должны разбить каждый патч АФАР размером стороны квадрата 6,5 см на 4 патч с размерами стороны квадрата в 3,25см с использованием шлейфового питания аналогичного с вариантом антенны по рисунку 10. В этом случае один радио-модуль должен обслуживать 8 патч с обеспечением вертикальной и горизонтальной поляризации как показано на рисунке 17.

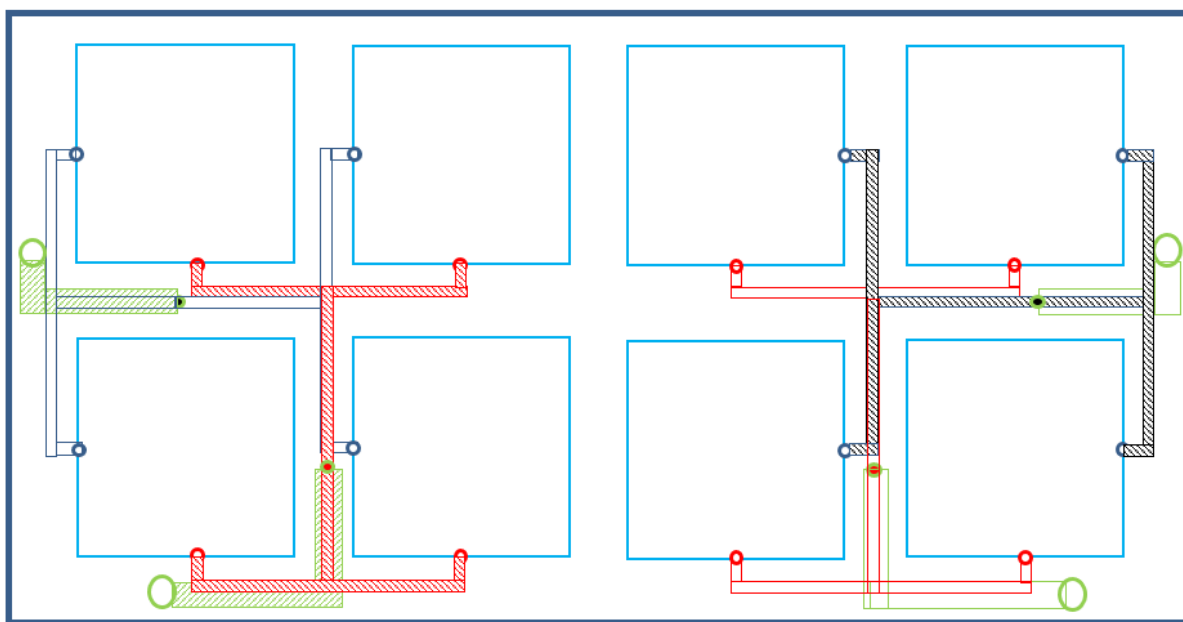


Рис. 17. Радио-модуль с размерами 13см × 6,5см с обслуживанием 8 патч

Здесь красным цветом отображён четвертьволновый полосковый делитель, дающий вертикальную поляризацию, и он расположен на своём слое многослойной печатной платы с подсоединением через металлизированное отверстие к верхнему слою металлической пластины патч АФАР с прохождением без контакта через металлизированный слой, отображающий «землю». На рисунке 17 это отмечено металлизированным отверстием с контуром красного цвета. Далее через металлизированное отверстие (отмечено на рисунке 17 линией окружности контура зелёного цвета с красным заполнением) идёт соединение со слоем многослойной печатной платы АФАР, в котором

может быть осуществлено согласование через полосковые линии и подобрана соответствующая длина в  $\lambda/4$  между точками подсоединения к патч между вертикальной и горизонтальной поляризацией. Этот слой многослойной печатной платы обозначен зелёным цветом, и через металлизированное отверстие зелёного цвета осуществляется подсоединение к противоположному последнему слою с подсоединением к малошумящему усилителю (МШУ) на плате № 1 с платы № 2, например, через СВЧ разъём типа «защёлки» (показан на рисунке 18) или усилителю мощности (УМ) на плате № 2 по рисунку 15.

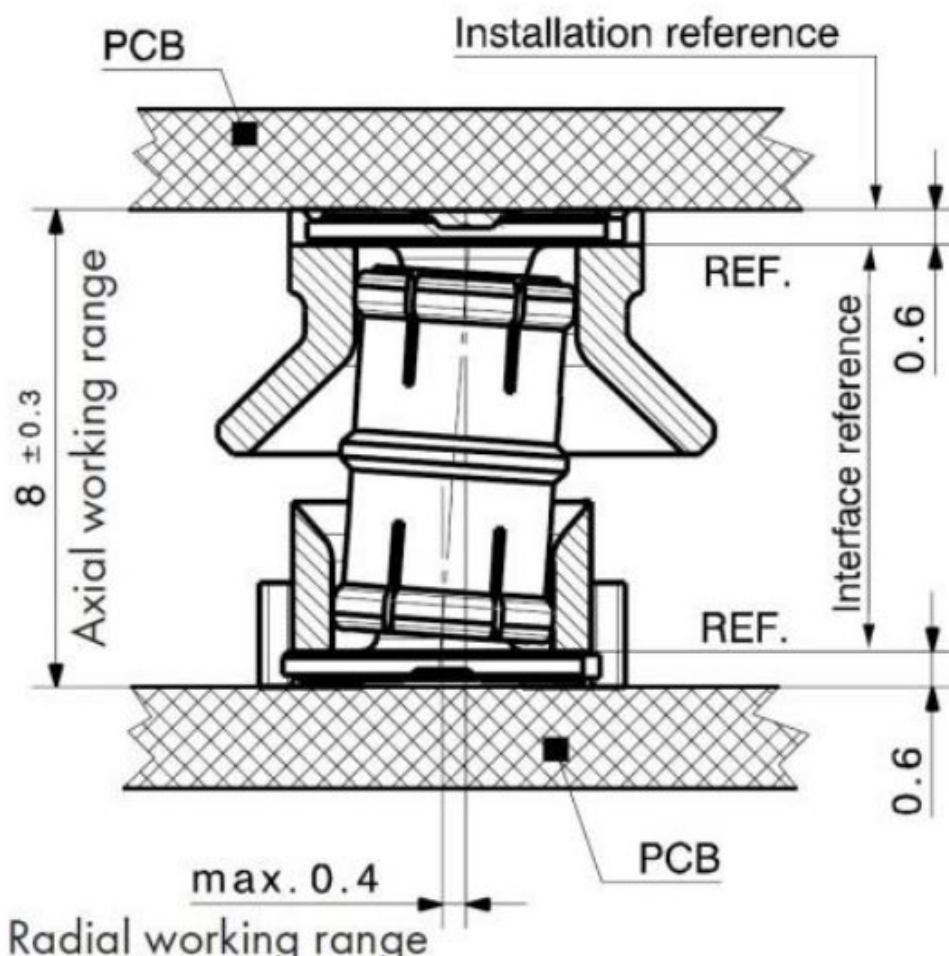


Рис. 18. СВЧ разъём типа «защёлка» с бочонком и с размерами при максимально плохом совпадении осей соединений, что и даёт расстояние между платами в 8,3мм. При хорошем совпадении будет 6мм

Таким образом, на основе предлагаемых радио-модулей, возможно, обеспечить весь диапазон FR1 от 600 до 6000 МГц.

Однако, способ конструкции представленный на рисунке 17 имеет недостаток связанный с тем, что при дроблении патч на более мелкие с учётом использования дополнительных слоёв многослойной печатной платы и подсоединения с помощью шлейфов по принципу рисунка

10 на несколько патч приходится одна и та же фаза от радио-модуля за счёт балансного модулятора (фазовращателя). Поэтому, в случае использования данного радио-модуля как элемента АФАР нужно учитывать, что отклонение ДН АФАР на угол  $\varphi$  можно обеспечить путём дискретного линейного изменения фазы сигнала от элемента к элементу так, чтобы разность фаз между соседними элементами

составляла  $2 \times \pi \times d \times \sin(\varphi) / \lambda$  [15, с. 26]. Соответственно при расстоянии между излучателями при дискретном изменении фазы через  $d=2 \times \lambda$  дополнительный симметричный дифракционный максимум появится при отклонении луча в  $\pm 30$  градусов и  $\pm 90$  градусов.

Понятно, что нет необходимости отклонения луча АФАР от нормали на 90 градусов в силу того, что в этом случае мы имеем минимальную площадь антенны в данном направлении. Поэтому существует оптимум количества патч с одинаковой фазой, который можно допустить при использовании варианта по рисунку 17. Так при использовании и расположении 15 полотен АФАР с количеством в каждом полотне по 256 патч на КА как показано на рисунке 8 для обслуживания всего пятна (4852 км) на Земле нам требуется иметь отклонение луча от нормали  $\pm 15$  градусов.

Кроме того, можно расширить угловой обзор без наличия дополнительных дифракционных максимумов, если на плате АФАР (это фактически многослойная печатная плата № 2) предусмотреть наличие ключей (возможно с расположением их на верхнем слое совместно с патч). Ключи будут менять длину отрезков шлейфов, расположенных в многослойной печатной плате на излучатели в зависимости от угла отклонения луча АФАР от нормали таким образом, чтобы сигналы, например, от близко расположенных излучателей (патч) складывались в фазе. Однако в данном случае придётся при больших углах отклонения луча АФАР отказаться от круговой поляризации и использовать либо вертикальную, либо горизонтальную поляризацию в зависимости от направления луча. Если исходить из приёма информации от АФАР на смартфоны, то поляризация не имеет принципиального значения, так как смартфон можно расположить соответствующим образом с учётом максимума принимаемой мощности, а отражения от Земли в силу использования высокой скорости передачи порядка 40–50 Мбит/сек будут иметь малое значение. Так, при передаче в 50 Мбит/сек мы будем иметь площадь отражения порядка 9 метров в квадрате и при потерях при отражении от Земли в минус

20 дБ, будем иметь эквивалент поверхности рассеяния  $9 \text{ м}^2 / 100 = 0,09 \text{ м}^2$ . С учётом приёма сигнала из задней полусферы по боковому лепестку добавляются потери ещё на 20–30 дБ. В итоге отражения от Земли будут эквивалентны поверхности рассеяния (ЭПР) в  $0,0009 \text{ м}^2 - 0,00009 \text{ м}^2$ . В нашем случае площадь ЭПР смартфона составляет  $0,13 \text{ м} \times 0,065 \text{ м} = 0,0845 \text{ м}^2$ , то есть отражённый сигнал от Земли будет значительно ниже порога чувствительности.

Использование предлагаемых радио-модулей в АФАР БПЛА оправдано при небольшом количестве патч, например, порядка 32 (это 16 радио-модулей при 3 ГГц), что собственно соответствует количеству волноводно-щелевых излучателей в одной из 12 панелей РЛС бокового обзора TerraSAR-X. При большом количестве патч порядка 256 требуется 128 радио-модулей. Здесь становится нерационально использовать законченные устройства типа смартфонов в силу излишнего потребления энергии на функции радиоэлементов, которые в данном АФАР не используются. При этом мы также имеем рост веса и массогабаритных характеристик.

В этом случае функциональная схема плат радио-модуля меняется и поэтому желательно использовать специализированные АФАР. Суть данной специализации сводится к тому, что при сохранении управления фазой для патч за счёт балансного модулятора для каждого радио-модуля, состоящего, например, из 2-х патч, в платах № 1 и № 2 убираются те радио-элементы, которые обеспечивали дополнительные функции. В этом случае один радио-модуль уже не является отдельным законченным приёмо-передающим устройством способным выполнять функции смартфона. При этом сигналы на промежуточной частоте от каждого специализированного радио-модуля суммируются или разделяются за счёт сумматоров и делителей прежде, чем будет осуществляться их цифровая обработка при приёме или разделении сигнала при передаче. То есть, фактически применяются приёмо-передающие модули аналогичные тем, что применяются для щелевых антенных решёток по рисунку 19.

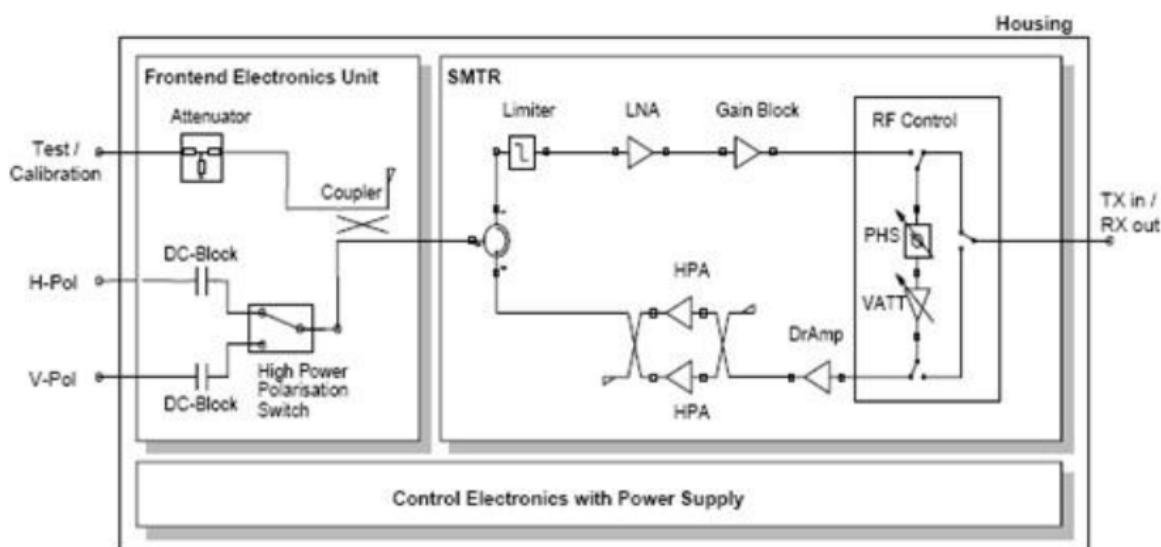


Рис. 19. Функциональная схема приёмно-передающего модуля АФАР X-диапазона

Однако в этом случае применяется слотовое (поперечное) расположение радиоэлементов к щелевым излучателям, как показано на рисунке 20. Из рисунка 20 видно, что планарное размещение платы радио-модуля невозможно вдоль щелевых излучателей, так как

расстояние между излучателями при 10 ГГц будет не более 1,5 см как в длину, так и в ширину. Соответственно к радио-модулям подсоединяется управляющая плата АФАР с планарным размещением элементов относительно поверхности антенны.



Рис. 20. Модуль СВЧ АФАР X-диапазона

В нашем случае с учётом размеров патч при 6 ГГц мы имеем теоретическое расстояние в длину (при наличии двух патч) порядка 5 см и в ширину (один патч) порядка 2,5 см. Иными словами, по отношению к предлагаемому радио-модулю с многослойными печатными платами порядка 13см на 6,5см за счёт удаления радиоэлементов, дающих полное

функциональное исполнение в качестве смартфона, нужно сократить размеры каждого специализированного радио-модуля состоящего из 2-х патч и двух плат № 1 и № 2 в 2,6 раза. При этом мы имеем как бы промежуточный вариант между планарным размещением радиоэлементов и поперечным (слотовым) их размещением. В результате получаются следующие

функциональные схемы для плат № 1 и № 2 (рис. 21-22) с размещением цифровой

обработки в управляющей плате АФАР (рис. 23) на нижней стороне плат № 1 по рисунку 15.

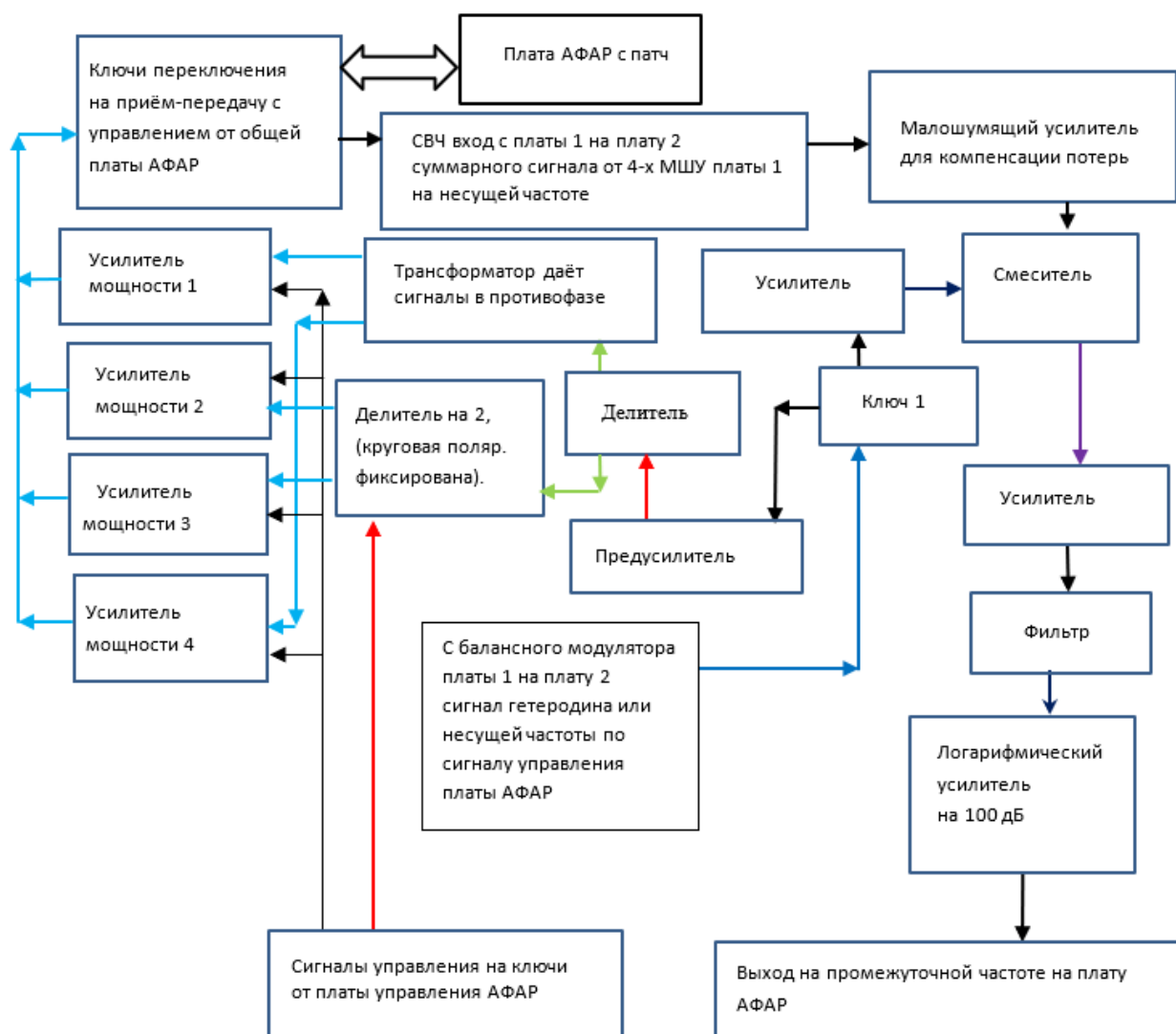


Рис. 21. Функциональная схема платы № 2

Опишем принцип функционирования платы № 2. Здесь при передаче поступает сигнал с учётом информации с балансного модулятора (БМ), который расположен на плате № 1, где с малоразмерной программируемой логической интегральной схемой (ПЛИС) через цифроаналоговый преобразователь (ЦАП) поступает значение фазы на БМ для 2-х патч. Модуляция передаваемого сигнала информацией осуществляется в БМ управляющей платы АФАР, которая располагается снизу платы № 1. Далее сигнал поступает на ключ 1 и через него на предусилитель. На следующем этапе происходит деление сигнала на два, и одна часть поступает на трансформатор, который обеспечивает противофазные сигналы, а другая часть на делитель. В данном случае рассматривается упрощённый вариант фиксированной круговой поляризации, где необходимая разница в

круговой поляризации при приёме и передаче, обеспечивается за счёт, например, сумматора и трансформатора при приёме, которые обеспечивают сдвиг на 180 градусов, в то время как при передаче используется только делитель в соответствующих каналах на УМ. Сдвиг на 180 градусов может быть осуществлён и иным способом, например эмиттерным повторителем. Это также сокращает элементы в платах № 1 и № 2. Полученные сигналы поступают на соответствующие усилители мощности и далее через ключи на два патч АФАР. По сравнению с вариантом передачи сигнала по рисунку 18 мы не имеем на плате № 2 фазовращателя с аттенуатором, циркулятора. При этом мы используем 4 усилителя мощности вместо двух с образованием круговой поляризации на основе 2-х патч. Собственно, так как один радио-модуль обслуживает один щелевой излучатель по



рисунку 19, то мы не имеем превышения по количеству элементов. При этом, так как у нас есть управление усилителями мощности, то мы можем обеспечивать любую поляризацию.

При приёме сигнала на патч АФАР через входные ключи информация на несущей частоте поступает через разъёмы типа «защёлка» на плату № 1, где расположены 4-е МШУ по рисунку 22. С первого и четвёртого МШУ усиленные сигналы поступают на трансформатор для получения синфазного сигнала, а усиленные принимаемые сигналы со второго и третьего МШУ поступают также на сумматор и трансформатор, дающий изменение фазы на 180 градусов, который обеспечивает левую круговую поляризацию при приёме, когда при передаче используется правая круговая поляризация. Далее через сумматор общий принятый сигнал через СВЧ разъём типа «защёлка» поступает с

платы № 1 на плату № 2 (рис. 21). Здесь также осуществляется усиление сигнала соответствующим МШУ для компенсации потерь. На следующем этапе происходит смещение принятого сигнала в смесителе на промежуточную частоту. В качестве гетеродинного сигнала выступает сигнал с балансного модулятора, который расположен на плате № 1 (рис. 22). Для управления фазой луча АФАР в этом БМ на плате № 1 предусмотрен малоразмерный ПЛИС (А3Р250) и ЦАП. При этом гетеродинный сигнал поступает на смеситель с платы № 1 через ключ и усилитель. Перенесённый на промежуточную частоту принятый сигнал усиливается, фильтруется и затем вновь усиливается до необходимого уровня с поступлением через плату № 1 на управляющую плату АФАР, которая находится в нижней части.

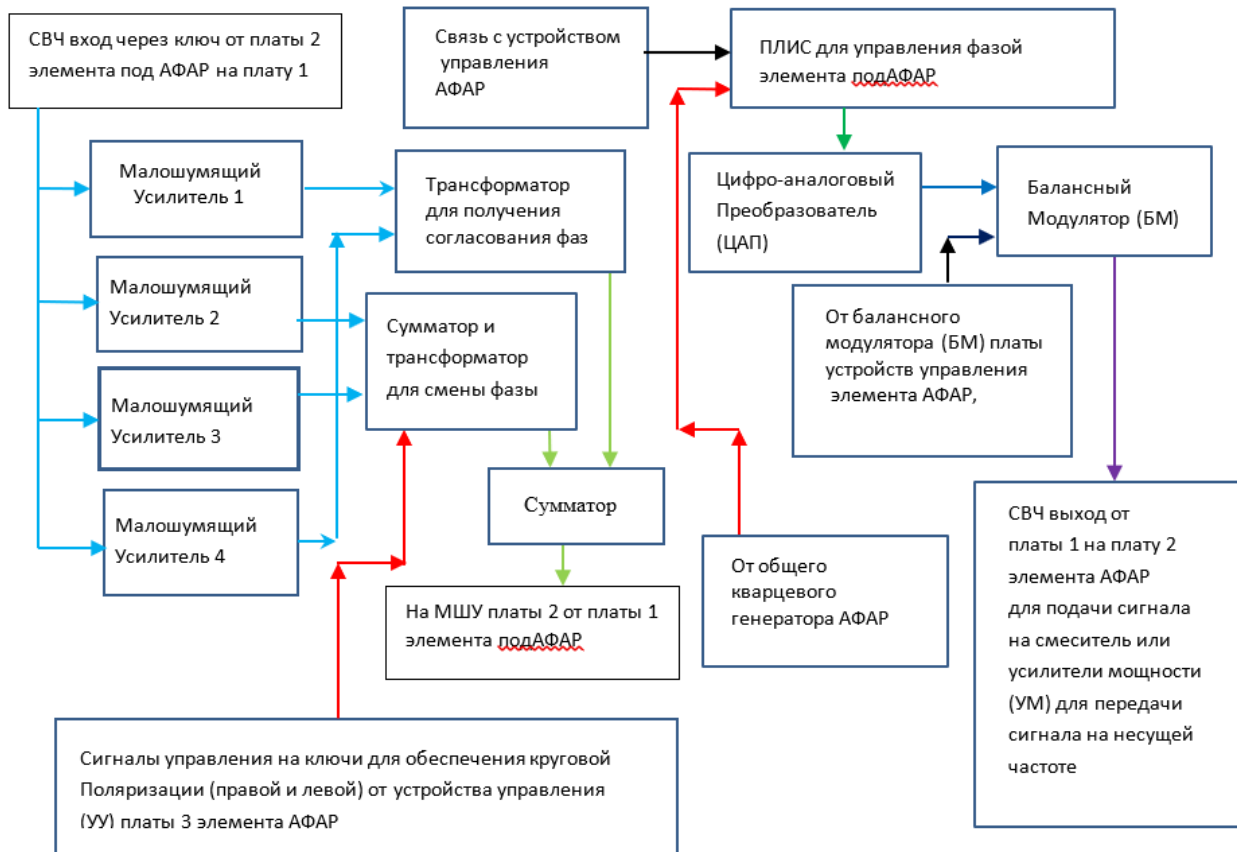


Рис. 22. Функциональная схема платы № 1

Соответственно теперь нам остаётся рассмотреть принцип работы управляющей платы АФАР (рис. 23), где происходит цифровая обработка принятого сигнала, обеспечение фазовой автоподстройки частоты (ФАПЧ) и модуляция сигналом информации передаваемого сигнала. Будем предполагать, что у нас полотно АФАР, состоящая из 256 элементов излучения (патч)

делится на четыре подАФАР. В этом случае один космический аппарат (КА) при 15 полотнах АФАР будет способен формировать одновременно до 60 лучей. Для примера один КА спутниковой системы «Iridium» формирует одновременно 48 лучей.

Таким образом, при приёме сигнала от 64 патч после предварительной обработки в

платах № 1 и № 2 принятый информационный сигнал на промежуточной частоте от 32 специализированных радио-модулей попадает на

управляющую плату АФАР, которая расположена снизу плат № 1.

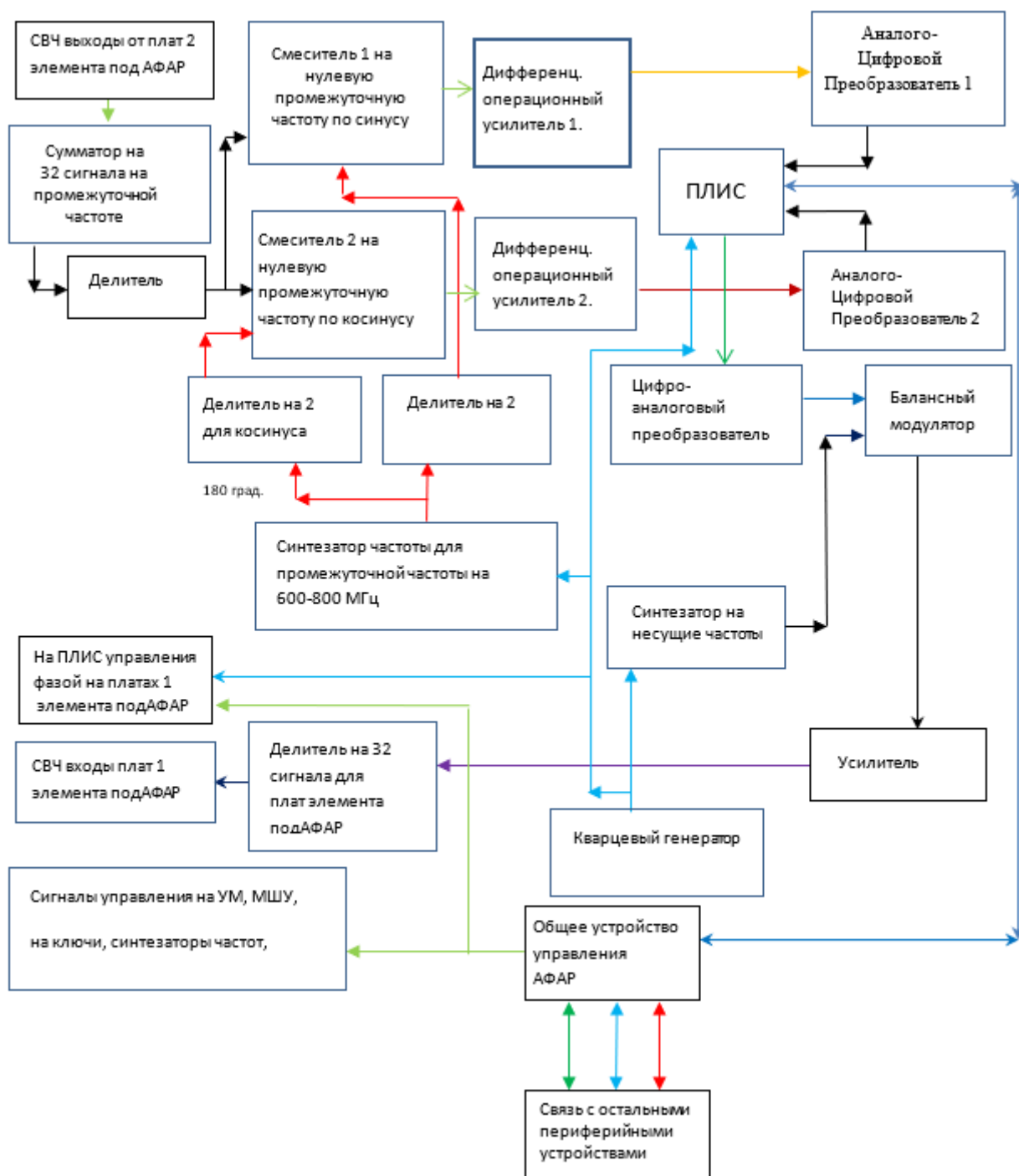


Рис. 23. Управляющая плата АФАР с ФАПЧ

В управляющей плате АФАР с ФАПЧ в сумматоре происходит суммирование сигнала на промежуточной частоте со всех 32 специализированных радио-модулей. На следующем этапе происходит деление сигнала для смещения сигнала на нулевую промежуточную частоту в смесителях 1 и 2. После этого сигналы информации в квадратуре и наличием смещения на частоту Доплера поступают на

дифференциальные операционные усилители, а с них на аналого-цифровые преобразователи для оцифровки принимаемых сигналов. Полученные сигналы поступают в ПЛИС (А3РЕ3000L), где происходит их обработка с фильтрацией и выделением частоты Доплера. По результату формируется сигнал управления для ФАПЧ, который поступает на ЦАП, а также происходит выделение принимаемой

информации. После ЦАП управляющие аналоговые сигналы поступают на балансный модулятор (рис. 23) и далее после усиления и разделения в делителе на плату № 1 (рис. 22), где этот сигнал с учётом смещения по частоте Доплера поступает на соответствующий БМ, где добавляется фаза для управления лучом АФАР. Полученный гетеродинный сигнал поступает через СВЧ разъём типа «зашёлка» и ключ на смеситель (рис. 21). Таким образом, осуществляется быстрая фазовая автоподстройка по частоте для выделения сигнала информации. Передача сигналов информации происходит от периферийных устройств от общего устройства управления АФАР, которые поступают на ПЛИС (рис. 23). В ПЛИС происходит формирование протокола передачи и далее сигнал подаётся на ЦАП. Отличие с приёмом сигнала заключается в том, что формируется сигнал не на гетеродинной частоте, а на несущей частоте и в плате № 2 он через ключ 1 поступает на предусилитель и далее распределяется между четырьмя усилителями мощности для образования выбранной поляризации.

Соответственно возникает вопрос о возможности сокращения размеров специализированных плат № 1 и № 2 в 2,6 раза. Оценку можно сделать на основе сравнения с функциональной схемой по рисунку 19 и платой СВЧ диапазона по рисунку 20 с учётом размеров наиболее габаритных радиоэлементов. На передачу в специализированной радио-модуле на два излучателя используются на плате № 2 четыре усилителя мощности и в этом случае нет отличий. Вместо циркулятора по рисунку 19 мы используем ключи на приём и передачу. Вместо ключей на вертикальную и горизонтальную поляризацию у нас используются либо делитель, либо трансформатор с учётом фиксации круговой поляризации на приём и передачу. По аналогии используется предусилитель, а

фазовращатель с аттенюатором заменён на балансный модулятор. Таким образом, в плане передачи сигнала мы имеем сравнимые по габаритам радиоэлементы. Приём сигнала осуществляется через четыре МШУ на плате № 1. На плате № 2 при приёме по сравнению с рисунком 19 у нас используется также МШУ для усиления сигнала и вместо блока усиления, мы используем смеситель (3мм×3мм) с усилителем (3,5мм×3,5мм), фильтрацией гармоник гетеродинной частоты и несущей частоты сигнала и логарифмическим усилителем (7мм×6мм), два трансформатора (5,4мм×3,8мм). То есть, здесь нет радиоэлементов, которые могут дать превышение габаритных размеров платы № 2 при размерах 5см×2,5см. При приёме на плате № 1 располагаются четыре МШУ габаритные размеры которых, значительно ниже, чем габаритные размеры УМ на плате № 2. Используются трансформаторы для синфазности и круговой поляризации. Из радиоэлементов, имеющих большие габаритные размеры используется ПЛИС, например, АЗР250 с размерами 1,7см×1,7см и ЦАП 8мм×8мм, а также БМ размерами 8,6мм×5,6мм. При этом, надо отметить, что некоторые радиоэлементы платы № 1 можно разместить и на обратной стороне платы, так как для радиоэлементов устройства управления используемая площадь составит 40см×40см. Одновременно и некоторые радиоэлементы платы № 2 (например, логарифмический усилитель) можно перенести на плату № 1. Понятно, что по плате № 1 мы также укладываемся в необходимые габаритные размеры 5см×2,5см при использовании несущей частоты в 6 ГГц. Плата управления АФАР используется в обоих вариантах, как в нашем случае, так и для щелевых АФАР. Для сравнения наземные пользовательские терминалы «Starlink» имеют аналогичные размеры (обычно диаметр порядка 61см), что видно из рисунка 24.



Рис. 24. Пользовательский терминал «Starlink»

Однако при работе Starlink в  $K_u$  диапазоне (12–18 ГГц) мы при работе на частоте в 6 ГГц будем иметь преимущество по чувствительности в 4 раза. Таким образом, мы видим, что специализированные АФАР обеспечивают расширение диапазона до 6 ГГц без учёта сужения углового обзора из-за наличия дифракционных максимумов ДН, как это может быть при варианте АФАР, показанном на рисунке 17 при наличии только круговой поляризации.

Однако, как мы отмечали выше, есть возможность использовать вариант АФАР по рисунку 17 с применением круговой поляризации в пределах углового обзора  $\pm 15$  градусов,

например, для АФАР X диапазона (порядка 10–12 ГГц) в группировке КА низкоорбитальной спутниковой системы. Иными словами, предлагаемые конструктивные решения обеспечивают плавный переход от патч антенн к щелевым излучателям с учётом оптимизированных радиотехнических параметров.

Понятно, что данные радио-модули и специализированные АФАР должны были заинтересовать министерство обороны РФ, так как именно связь очень необходима на театре военных действий. Однако мы получили ответ, который представляем на рисунке 25.

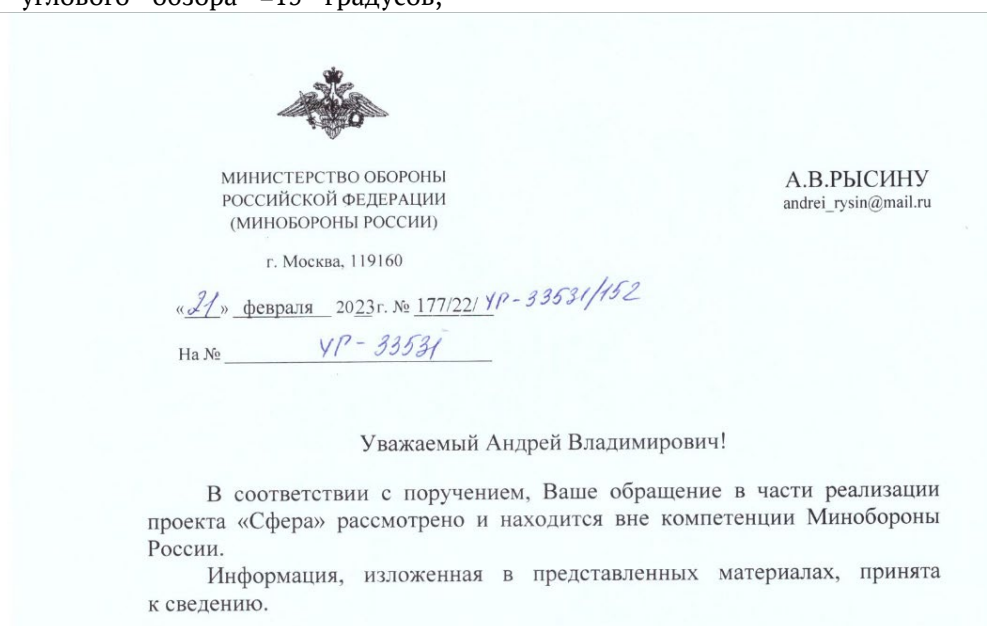
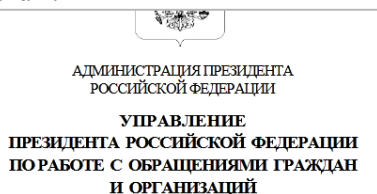


Рис. 25. Ответ из министерства обороны РФ

Надо отметить, что по результатам наших публикаций, мы не принимаем никакого участия в проекте «Сфера», так как этот проект не имеет научного обоснования с указанием преимуществ перед иностранными аналогами, так как он создан на основе предыдущих разработок, которые уже изначально уступали иностранным аналогам.



ул. Ильинка, д. 23, Москва, Российская Федерация, 103132

« 19 » декабря 20 23 г.

№ А26-02-142299891

Не надо думать, что торможение перспективных научно-исследовательских работ осуществляется только в технике, аналогичная ситуация в квантовой механике и физике, где подгонки под результат выдаются как открытия, о чём мы писали в [16, с. 12-32]. Интересен ответ от Администрации Президента РФ, что видно по рисунку 26.

РЫСИНУ А.В.

andrei\_rysin@mail.ru



Повторно уведомляем, что на основании части 5 статьи 11 Федерального закона № 59-ФЗ принято решение о бесосновательности очередного обращения, переписка с Вами по вопросам, связанным с усовершенствованием Вами уравнения Максвелла, критикой научных организаций по данному вопросу, а также несогласием в связи с этим с результатами рассмотрения Ваших обращений уполномоченными лицами – работниками Управления Президента Российской Федерации по работе с обращениями граждан и организаций, прекращена.

Рис. 26. Ответ из Администрации Президента РФ

Самое интересное в том, что опровергнуть усовершенствование уравнений Максвелла они не могут, так как сам вид уравнений совпадает с существующим видом и сторонние (фиктивные) токи заменены на проекции по времени производных напряжённости электрических и магнитных полей, что собственно и было необходимо сделать для подчинения уравнениям СТО и ОТО Эйнштейна, а иначе искривления движения света в гравитационном поле не объяснить, нет взаимосвязи. Вопрос касался только замены уже существовавшего названия, проекций сторонних напряженностей полей на эти же проекции только с другим названием на время, да и саму необходимость использования проекций на время ввёл ещё Фейнман только для вектора-потенциалов. Но даже эту элементарную логику «корифеи науки» не в состоянии понять. Мы специально публикуем ответы от соответствующих организаций, так как иначе невозможно заставить их выйти на честный диалог, они просто отмалчиваются и боятся огласки их действий. Понятно, что здесь не обходится без корыстных интересов.

Соответственно сделаем выводы:

1. Предлагаемые радио-модули вполне могут использоваться как в качестве смартфонов, так и элементов АФАР с замещением функций как систем связи, навигации, радиотехнической разведки и радиолокации.
2. Использование предлагаемых радио-модулей возможно и в системах сотовой связи в качестве устройств импорт замещения.
3. Возможно создание специализированных АФАР для КА низкоорбитальной спутниковой связи для обеспечения Интернет с высокой скоростью передачи.
4. Показаны оптимизированные варианты функциональных схем с учётом конструкции и радиотехнических параметров в сравнении с известными аналогами и прототипами в диапазоне частот вплоть до применения волноводно-щелевых антенн.

### Литература

1. Рысин А.В., Бойкачёв В.Н., Наянов А.М. Способ быстрой фазовой автоподстройки частоты (ФАПЧ) и исключение ошибок, связанных с дискретизацией сигнала по теореме Котельникова. Науч. журнал. «Обществознание и

социальная психология» выпуск 2-2(46) 2023. С. 757-778.

2. Рысин А.В., Бойкачёв В.Н., Наянов А.М., Островский Я.Б. Анализ вариантов блоков радиоуправления для беспилотных летательных аппаратов (БПЛА). Научный международный журнал. «Актуальные исследования», № 16(146), 2023, часть 1, С. 9-41.

3. Рысин А.В., Бойкачёв В.Н., Наянов А.М., Островский Я.Б. Обоснование и сравнение функциональных схем радиоуправления для беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) в широком диапазоне частот на основе оптимизированных радиотехнических параметров. Научный международный журнал. «Актуальные исследования», № 21(151), 2023, часть 1, С. 38-81.

4. Рысин А.В., Бойкачёв В.Н., Островский Я.Б. Оптимизация частотной и символьной синхронизации в режиме когерентного накопления по псевдослучайным кодам с целью улучшения помехозащищённости и получением максимальной чувствительности по принимаемому сигналу для управления беспилотными летательными аппаратами (БПЛА). Научный международный журнал. «Актуальные исследования», № 33(163), 2023, С. 17-35.

5. Рысин А.В., Бойкачёв В.Н., Наянов А.М., Островский Я.Б. Оптимизация беспроводного канала связи радио-модуля БПЛА при автономной работе для многофункционального применения при существующей радио элементной базе коммерческого использования. Научный международный журнал. «Актуальные исследования», технические науки, № 40(170), 2023, часть 1, С. 6-22.

6. Рысин А.В., Бойкачёв В.Н., Соколов А.Д., Наянов А.М., Островский Я.Б. Оптимизация и обоснование конструктивного исполнения устройства связи и управления для БПЛА с учётом многофункционального применения при существующей радио-элементной базе коммерческого использования. Научный международный журнал. «Актуальные исследования», № 37(167), 2023, часть 1, С. 9-40.

7. Рысин А.В., Бойкачёв В.Н., Наянов А.М., Островский Я.Б. Оценка использования многофункционального радио-модуля беспилотного летательного аппарата (БПЛА) в составе активной фазированной антенной решётки

(АФАР) в широком диапазоне частот. Научный международный журнал. «Актуальные исследования», № 50(180), 2023, часть 1, С. 26-53.

8. Рысин А.В., Бойкачёв В.Н., Соколов А.Д., Наянов А.М. Оценка возможностей использования оптимизированного многофункционального радио-модуля беспилотного летательного аппарата (БПЛА) в качестве элемента активной фазированной антенной решётки (АФАР) как средства связи. Научный международный журнал. «Актуальные исследования», № 3(185), 2024, часть 1, С. 23-51.

9. Рысин А.В., Бойкачёв В.Н., Наянов А.М. Способ радиотехнической разведки (РТР) для создания эффективных помех беспилотным летательным аппаратам (БПЛА) противника с помощью активных фазированных решёток (АФАР) на БПЛА радиоэлектронной борьбы (РЭБ) на основе радио-модулей. Научный международный журнал. «Актуальные исследования», № 7(189), 2024, часть 1, С. 9-35.

10. <https://3dnews.ru/1101215/skorost-zagruzki-so-sputnika-starlink-na-androidtelefon-dostigla-17-mbits>.

11. Рысин А.В., Бойкачёв В.Н., Наянов А.М. Использование низкоорбитальных спутниковых систем связи (НССС) для навигации с оптимизацией радиотехнических параметров. Научный международный журнал. «Актуальные исследования», № 9(139), 2023, часть 1, С. 21-85.

12. Дубровка Ф.Ф., Мартынюк С.Е. Полосковая антенная решётка с воздушным заполнением. Вісник Національного технічного університету України «КПІ» Серія-Радіотеніка. Радіоапаратобудування. 2009, № 38.

13. Мамонкин И.Г. Усилительные устройства. Учебное пособие для вузов. Изд.2-е, доп. и перераб. М., Связь», 1977, С. 235.

14. В.И. Тихонов. Статистическая радиотехника. – М.: Сов. радио. 1966, С. 473.

15. А.И. Леонов, К.И. Фомичёв. Моноимпульсная радиолокация. –М.: Радио и связь, 1984, С. 26.

16. Рысин А.В., Никифоров И.К., Бойкачёв В.Н. Подгонки под результат в квантовой механике и физике. Часть 1. Научный международный журнал. «Актуальные исследования», № 51(181), 2023, часть 1, С. 12-32.

**RYSIN Andrey Vladimirovich**

Radio engineer, ANO "NTIC "Techcom", Russia, Moscow

**BOYKACHEV Vladislav Naumovich**

Director, Candidate of Technical Sciences, ANO "NTIC "Techcom",  
Russia, Moscow

**NAYANOV Alexey Mikhailovich**

Head of the sector, ANO "NTIC "Techcom",  
Russia, Moscow

## **ANALYSIS OF THE PROMISING APPLICATION OF STRIP ANTENNAS FOR ACTIVE PHASED ARRAYS (AFARS) OF UNMANNED AERIAL VEHICLES (UAVS) AT USING A LOW-ORBIT SATELLITE COMMUNICATION SYSTEM**

**Abstract.** *The results of military operations using UAVs have shown that the effectiveness of UAV control and information transmission depend on noise immunity. In this case, in addition to multifunctional applications and protocol of protection from an interference, an effective way to protect is to use as wide a frequency range as possible, which makes it difficult to create effective interference. For example, the radio interface defined by 3GPP for 5G is known as New Radio (NR), and the specification is divided into two frequency bands: FR1 (600–6000 MHz) and FR2 (24–100 GHz). The frequency range from 600 - 6000 MHz is the most mastered and at frequencies above 1 GHz it is possible to use AFAR on strip emitters (patch). It should be noted that the transition to AFAR allows you to concentrate the signal energy in the desired direction and makes it difficult for signals to be detected by means of electronic reconnaissance. In addition, at the present stage, signal transmission and reception through spacecraft are used to improve noise immunity and make it difficult to destroy command control points. This also requires the use of AFAR. The article presents an analysis of the promising use of strip antennas for AFAR up to 12 GHz.*

**Keywords:** *unmanned aerial vehicle, active phased array, radio module, digital phase auto-tuning of the frequency, space vehicle.*

# ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

VORONKIN Vadim Alexandrovich

Student, Sevastopol State University, Russia, Sevastopol

## DEVELOPMENT OF TASK BATCH EXECUTION OPTIMIZATION SYSTEM IN MULTI-STAGE SYSTEMS USING BRANCH AND BOUND METHOD

**Abstract.** *The research focuses on the optimization system for task batch executions. The aim is to develop an application for scheduling and optimizing the execution of task batches in multi-stage systems. The system is intended for use within enterprises involved in various production processes to optimize the creation process. It is implemented for the Windows operating system using Windows Forms for building interactive applications. It enables the creation and optimization of schedules for production at enterprises. The system is designed for implementation in manufacturing enterprises based on conveyor production.*

**Keywords:** *task batches, device, branch and bound method, optimization, conveyor systems, schedule, multi-stage system, task processing duration, device setup duration, criterion, fixed batches.*

### Introduction

The application being developed for optimizing schedules for executing batches of tasks in multi-stage systems using the branch and bound method is relevant, since existing methods allow one to find a solution, but they use exhaustive search algorithms, which leads to serious costs of both computational resources and time. The basis for optimizing this process is the branch and bound method, which helps to iteratively cut off unpromising optimization paths according to specified evaluation criteria, this allows you to reduce the amount of resources used and, accordingly, reduces the time spent on calculating and constructing an optimal schedule.

The subject of research is a system for optimizing the execution of task packages.

Practical significance of the work. The results of this work may be of interest to enterprises involved in the production or processing of products using a conveyor system.

Scientific and practical novelty. The developed system accumulates several stages of optimizing the execution of task packages using the branch and bound method, and also has a modular structure that provides flexibility for its implementation at various enterprises.

### Objects and methods of research

Optimization problems arise in almost all areas of human activity. Each optimization task is the

product of analysis and comparison with other (less desirable) activities.

Currently, optimization is used in the fields of science, technology and other areas of human activity. This includes, for example, the problem of planning production with maximum final profit for a certain amount of resources. The problem of managing a system of hydroelectric power plants and reservoirs at maximum power. The problem of space flight from one point in the universe to another, in the fastest way or with minimal energy consumption. The problem of quickly heating the oven to a given temperature and many other problems.

Optimization is a goal-oriented activity aimed at obtaining the best results under given resources and conditions.

It is worth reviewing the following concepts that will be considered and applied during the design and implementation of the solution.

A multi-stage system is a system in which the process of servicing each type of job (package) includes several processing stages (stages) on each of the devices. Thus, the system implements sequential processing of packets with the same routes on each device [1].

Job packages are a concept that implies the presence of several jobs of a specific type, performed without the need to reconfigure the devices of a multi-stage system to process jobs of a



different type. A batch containing all jobs of the same type is called fixed.

A device is a mechanism that processes a unit of a job; the processing time of a job is fixed for each type; before processing a subsequent job of a different type, the device needs an n-th amount of time for changeover; changeover is not carried out when processing jobs of the same type or the so-called batch of jobs sequentially.

It is also worth noting systems that solve optimization problems.

From the existing classes of systems, the following global classes of systems can be distinguished:

- imitation;
- MES (Manufacturing Execution System);
- APS (Advanced Planning & Scheduling System).

### Simulation systems

AnyLogic is a tool that allows you to simulate various processes, including conveyor systems, based on mathematical conclusions. This system provides clear visual diagrams with interactive display of the modeling process itself; with the proper skill, you can implement a mathematical model to optimize the production process. But this system does not allow the control of external production process systems, and also requires quite a lot of skill in designing and constructing mathematical models [2].

### MES systems

MES systems operate within production conveyor processing enterprises, for example, in the HYDRA product, optimization is based on an evolutionary strategy or on production rules. HYDRA is a fairly powerful product that allows you not only to plan the production process but also monitors the states of devices and the amount of supplied resources. No matter how paradoxical it may sound, the disadvantage of this system is its complexity and implementation costs; this system must completely cover all stages and areas of production, which in turn is expensive both in terms of time and financial resources [3].

PHARIS is a unique MES developed by UNIS. PHARIS solves a wide range of problems and makes it possible to optimize a wide variety of production processes from creating a production order to planning, monitoring and production management, as well as documenting finished products and semi-finished products. PHARIS can also be considered as a manufacturing information system that provides an interface for interaction between injection mold control systems [4]. The

PHARIS system is based on the use of genetic algorithms, 1C "Operational Production Management", on heuristic algorithms combining the use of greedy strategies and limited search strategies. This system is quite functional, but, like HYDRA, it is full-scale and suitable for global production enterprises with a high level of output and a large number of devices.

### APS systems

APS systems are special in that they can be used both for planning and for optimizing discrete or continuous production. Examples of similar systems are SysQuest and ProMIRA. These systems are mainly used for planning the production process, taking into account the introduced restrictions, a schedule is built that will satisfy strict restrictions and will be acceptable so that the production time of the product is met, further optimization takes place taking into account the remaining non-rigid requirements. They do not guarantee finding the optimal schedule, and must also adapt to certain production systems.

The disadvantage of these systems is their focus on specific production enterprises or on production modeling, without the ability to adapt to various management system bases; such solutions provide planning and schedule processing systems taking into account given batches of products without the possibility of distributing the composition of these batches, since they are specified in static mode, this problem is partially solved by ASP systems that determine the installation of the required volume of products in strict system requirements. It is also worth noting that no open systems have been found that use the branch and bound method for constructing and optimizing schedules, so it was decided to design and implement a modular optimization system based on the branch and bound method, this will not only reduce the schedule planning time, but it will also allow integration of this system into any enterprise engaged in conveyor processing of products.

The proposed solution is the implementation of a system for optimizing the execution of batches of jobs in multi-stage systems using the branch and bound method, involves the calculation and construction of processing batches of jobs of  $n_i$  types on  $n$  devices, taking into account the changeover to the execution of batches of jobs of a different type, each type of job has its own processing time per each of  $n$  devices, and also has a common changeover time for all devices for each of  $n$  types.

The system will have a modular structure, with the ability to replace modules as needed:

- 1) module for optimizing the composition of job packages;
- 2) module for optimizing the schedule for executing batches of tasks;
- 3) module for graphical presentation of the schedule.

The first module of the system deals with the construction and selection of the optimal composition of task packages depending on the specified number of tasks of each type.

The second module searches for the optimal schedule; the input of this module is the composition of task packages found after the first module.

The process of optimizing the schedule consists of finding an order for processing batches of jobs that gives the maximum estimate of the utility of the time spent completing the processing of all batches of jobs of each type; this estimate is taken based on the last device that will process the last batch of jobs. The maximum utility score is a score that reflects the minimum amount of time spent processing all job batches. To find optimal solutions, a breadth-first search strategy was used, with the preliminary exclusion of subsets that obviously do not contain optimal solutions. This is facilitated by the use of the branch and bound method, the study of each subset of solutions, which involves placing one package not included in the sequence of their execution in the current position. Elimination of a subset of solutions is carried out taking into account the comparison of the lower estimate for each branching level of the tree of variations of job packages; the iterative process involves considering branches whose lower estimate is minimal at a given level; there may be several such branches at the tree level. The construction of the final optimal schedule is carried out using a heuristic rule in which job packages are placed in descending order of changeover duration.

To further describe the algorithm in a formalized form, we introduce the following notation:

- $i$  – number of devices (conveyor segments);
- $n$  – number of data types;
- $n^i$  – number of tasks of the  $i$ -th type;
- $m_i$  – number of data batches  $i$ -th type ( $i = \overline{1, n}$ );
- $M$  – vector of the number of task packages of each type;
- $A$  – matrix of task package compositions;
- $\pi^l$  – sequence of execution of task packages on devices;

$P$  – matrix of the order of processing batches of sequences;

$R$  – data quantity matrix  $i$ -th type  $n_j$  -th part of the sequence  $\pi^l$ ;

$q$  – serial number of data in  $j$ -th part of the sequence  $\pi^l$ ;

$t_{li}$  – duration of execution of tasks of the  $i$ -th type on the  $l$ -th device;

$T$  – matrix of durations for performing tasks of the  $i$ -th types on devices;

$t_{ij}^l$  – duration of changeover of the  $l$ -th device from performing tasks of the  $i$ -th type to performing tasks of the  $j$ -th type;

$T^l$  – changeover matrices for  $l$ -th devices;

$t_{ij}^{nl}$  – time points of the beginning of the implementation of actions from the  $i$ -th type BT in the  $j$ -th position in the sequence  $\pi^l$ ;

$T^{nl}$  – matrices of the time instants of the start of execution of the BT of the  $i$ -th types in the  $j$ -th positions in  $\pi^l$ ;

$Pr_{ij}^l$  – downtime of the  $l$ -th device waiting for readiness to perform the  $i$ -th type of task, in the  $j$ -th position in the sequence  $\pi^l$ .

A vector  $M = (m_1, m_2, \dots, m_n)^T$  and a matrix  $A = \|a_{ih}\|_{n \times m}$  (where  $h$  corresponds to the number of the  $i$ -th type BT) represent input data specifying the number of packages of each  $i$ -th type ( $i = \overline{1, n}$ ) and the composition of these packages (total number of packages  $n_p = \sum_{i=1}^n m_i$ ). To formalize the type of sequences of BT execution in the MS, the matrix  $P$  is introduced in the consideration. The element  $r_{ij} \neq 0$ , if the BT of the  $i$ -th type occupies the  $\pi^l$   $j$ -th position, if the BT of the  $i$ -th type does not occupy the  $j$ -th  $p_{ij} = 0$  position. In order to characterize the number of jobs of the  $i$ -th type ( $i = \overline{1, n}$ ) in packages occupying the  $j$ -th position in the sequences, the matrix  $R$  is introduced. Element, if the job of the  $i$ -th type occupies the  $j$ -th position with the number of elements in it equal to  $l = \overline{1, L}$  if the  $i$ -th type BT does not occupy  $r_{ij} = 0$  in  $\pi^l$   $j$ -th position. The order of BT execution on different MS devices is the same (the same types of sequences ()), therefore, when constructing schedules, one matrix  $P$  and one matrix  $R$  are formed. Then the schedule for BT execution on MS devices has the form:  $[P, R, \{T^{nl} | l = \overline{1, L}\}]$ .

To build a model of the process of executing a BT in a MS, a parameter  $Pr_{ij}^l$  was introduced into consideration, characterizing the downtime of the  $l$ -th device while waiting for the start of executing a BT of the  $i$ -th type, occupying the  $j$ -th position in ( $\pi^l$   $i = \overline{1, n}$ ). There is no downtime of the ( $l=1$ )-th device waiting for the BT to be ready for execution:  $Pr_{i,j}^1 = 0$  ( $i = \overline{1, n}, j = \overline{1, n_p}$ ). Downtime of each  $l$ -th

device ( $l = \overline{2, L}$ ) while waiting for the readiness of the BT of the  $i$ -th type, occupying the  $(j=1)$ -th position in the sequences, are also equal to:  $Pr_{i,1}^l = 0$ . Downtime of the  $(l=2)$ -th,  $(l=3)$ -th and  $L$ -th devices

$$\begin{aligned} Pr_{i,2}^2 &= \max(0, (t_{i,2}^{n1} + r_{i2}t_{1,i}) - (t_{i,1}^{n2} + r_{i,1}t_{2,i} + t_{i,i}^2)); \\ Pr_{i,2}^3 &= \max(0, (t_{i,2}^{n2} + r_{i2}t_{2,i}) - (t_{i,1}^{n3} + r_{i,1}t_{3,i} + t_{i,i}^3)); \\ Pr_{i,2}^L &= \max(0, (t_{i,2}^{n(L-1)} + r_{i2}t_{(L-1),i}) - (t_{i,1}^{nL} + r_{i,1}t_{L,i} + t_{i,i}^L)). \end{aligned}$$

Where  $i'$  – the type of tasks, the package of which occupies the  $(j=1)$ th position in the corresponding sequences, – the number of tasks in the

$$Pr_{ij}^l = \max(0, (t_{i,j}^{n(l-1)} + r_{i,j}t_{(l-1),i}) - (t_{i',(j-1)}^{nl} + r_{i',(j-1)}t_{l,i'} + t_{i',i}^l)), \quad (1)$$

Where  $t_{i,j}^{n(l-1)}$  – the time point of the start of execution of the  $i$ -th type BT, occupying the  $j$ -th position in the sequence  $\pi^{l-1}$  (on the  $(l-1)$ -th device),  $t_{i',(j-1)}^{nl}$  – the number of tasks in this package, – the start time of the start of the  $i'$ -th type BT execution, occupying  $(j-1)$ th position in the sequence  $\pi^l$ ,  $r_{i',(j-1)}$  is the number of tasks in this package.

$$\begin{aligned} t_{i1}^{n1} &= 0; ; t_{i2}^{n1} = t_{i1}^{n1} + r_{i1}t_{1i} + t_{i,i}^1 \\ .t_{i',n_p}^{n1} &= t_{i',n_p-1}^{n1} + r_{i',n_p-1}t_{1,i'} + t_{i',i'}^1 \end{aligned} \quad (2)$$

In accordance with (2), expressions for determining the values of  $t_{i,1}^{n2}t_{i,2}^{n2}t_{i,1}^{nL}$ , and  $t_{i,2}^{nL}$  moments of the start time of execution of the BT of the  $i$ -th and

$$\begin{aligned} t_{i,1}^{n2} &= r_{i,1}t_{1i}(\text{at}), t_{i1}^{n1} = 0 t_{i2}^{n2} = t_{i1}^{n2} + r_{i1}t_{2i} + t_{i,i}^2 + Pr_{i,2}^2; \\ t_{i,1}^{nL} &= \sum_{g=1}^{L-1} r_{i,1}t_{gi}, t_{i2}^{nL} = t_{i1}^{nL} + r_{i1}t_{Li} + t_{i,i}^L + Pr_{i,2}^L. \end{aligned} \quad (3)$$

In accordance with (3), expressions for determining the values of,  $t_{i,1}^{nL}t_{i,j}^{nL}$  have the form:  $t_{i,1}^{nL} = \sum_{g=1}^{L-1} r_{i,1}t_{gi}$

$$t_{ij}^{nL} = t_{i,(j-1)}^{nL} + r_{i,(j-1)}t_{i,i} + t_{i,i}^L + Pr_{i,j}^L \quad (4)$$

Where  $i'$  – the type of tasks, the package of which occupies the  $\pi^l$  ( $l = \overline{2, L}$ )  $(j-1)$ th position preceding the  $j$ -th position of the considered BT of the  $i$ -th type. Expressions (1), (2), (4) represent a mathematical model of the process of executing BT of the  $i$ -th types ( $l = \overline{2, L}$ ) on MS devices occupying the  $j$ th position in ( $\pi^l l = \overline{1, L}$ ).

To optimize the schedule for executing batches of tasks in MS using BBM, the following notations are introduced into consideration:

$J$  – number of the current iteration of the branch-and-bound algorithm;

$h_i$  – identifier (number) of the  $i$ -th type BT placed in ( $\pi^l l = \overline{1, L}$ );

$H_i^1$  – sets of identifiers (numbers) of BTs of  $i$ -th types ( $i = \overline{1, n}$ ), which were placed at previous iterations of the BBM algorithm in sequences ( $\pi^l l = \overline{1, L}$ );

waiting for readiness to execute the BT of the  $i$ -th type, occupying the  $(j=2)$ -th position in the sequences  $\pi^2, \pi^3$  and  $\pi^L$ , is determined by expressions of the form:

package of the  $i$ -th type, occupying the  $j$ -th position in [7].

Then the general formula for calculating downtime will be as follows:

Values of the start time of execution of BT of  $i$ -th types in  $j$ -th positions () in the sequence  $t_{i,j}^{n1}j = \overline{1, n_p}\pi^1$  (on the  $(l=1)$ th device) are determined by expressions of the form:

$i'$ -th types, occupying the  $(j=1)$ th and  $(j=2)$ th positions in the sequences  $\pi^2\pi^L$  and have the form:

$H_i^2$  – sets of identifiers (numbers) of BTs of  $i$ -th types ( $\pi^l l = \overline{1, L}$ ), which were not placed at the previous and current iterations of the BBM algorithm in sequences  $\pi^l l = \overline{1, L}H_i^2 = H_i \setminus H_i^1$

$G_{ih_i}^j$  – a set of decisions on the order of execution of packages in the MS (schedules), in which  $h_i$ The th TB of the  $i$ -th type occupies the  $j$ -th position in the sequences  $\pi^l$  ( $l = \overline{1, L}$ ) implementation of actions with them on system devices;

$H^B$  – uBTer estimate of criterion values  $f$  (record);

$H_{i,h_i}^{n_j}$  – lower estimate of the criterion values, calculated for the top of the tree corresponding to the  $fG_{ih_i}^j$ ;

$H_j^B$  – the maximum value of the criterion  $f$  for admissible solutions for the order of execution of the BT corresponding to the sets, used to identify the upper estimate at the  $j$ th iteration of the algorithm  $G_{ih_i}^jH^B$ .

In accordance with the BBM, the  $j$ -th iteration of the algorithm is associated with the placement in the  $j$ -th position in sequences ( $\pi^l l = \overline{1, L}$ ) of various packets of the  $i$ -th types that were not placed

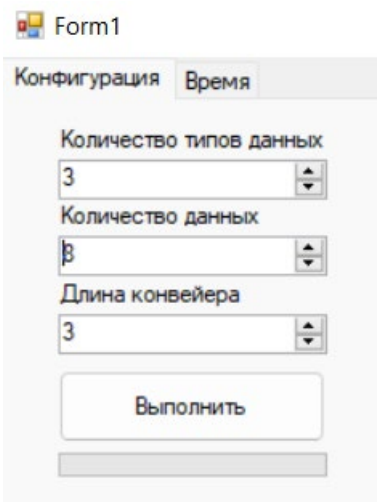
in  $(h_i \pi^l = \overline{1, L})$  before the current iteration of the algorithm. Vertex with identifiers  $k_j$  is associated with a set of solutions involving placement in the  $j$ -th position in sequences  $(G_{i, h_i}^j \pi^l = \overline{1, L})$  of one  $h_i$ -th BT of some  $i$ -th type  $(i = \overline{1, n \pi^l})$ , which was not placed before the current iteration of the algorithm [5-7].

The screening procedure involves  $G_{i, h_i}^j$ , for all sets obtained as a result of the partitioning procedure, calculating the values of the lower estimates and  $H_{i, h_i}^{hj}$  comparing these values with the value of the current record  $H^B$ . A set is eliminated  $G_{i, h_i}^j$  when the condition  $H_{i, h_i}^{hj} \geq H^B$  is satisfied for its lower estimate  $H_{i, h_i}^{hj}$ . In order to calculate the value for the corresponding set (vertex identified by the tuple), a matrix R is formed, each element  $r_{ij}, \neq 0$  ( $j' = \overline{1, j}$ ), where  $j$  is the number of the current position under consideration in  $\pi^l$  ( $l = \overline{1, L}$ ) which corresponds to the number of tasks in the packages occupying the  $j$ 'th position ( $j' = \overline{1, j}$ ). Identifiers of  $i$  job types and batch numbers are determined in the process of a depth-first traversal of the BBM tree from the root to the considered vertex (the formation of the matrix R is implemented in parallel

with a depth-first traversal of the BBM tree from the root to the considered vertex). Based on the generated matrix R, the determination of the values  $t_{i, j}^{nl}$ , of the time instants of the start of execution of the  $i$ -th types of BTs occupying the  $j$ '-th positions ( $j' = \overline{1, j}$ ) in the sequences  $\pi^l$  is realized. The calculation  $H_{i, h_i}^{hj}$  of the lower estimate is carried out based on the value of the end time of execution of the  $i$ -th type of BT, added last to the considered (current)  $j$ -th position in the sequence  $\pi^l$  ( $l = \overline{1, L}$ ), defined as follows:  $\max_{j'=1, j} (t_{i, j'}^{nl} + r_{i, j}, t_{L, i})$ . The method for calculating the lower estimate involves placing in the sequence (on the  $L$ -th device) following the task of the  $i$ -th type, occupying the  $j$ -th position, tasks of various  $i$ -th types (such that  $H_i^2 \neq \emptyset$ ) that remain unfulfilled.

The calculation of the initial value of the upper estimate (record)  $H^B$  is based on the formulated method of ordering the  $i$ -th type of BT ( $i = \overline{1, n}$ ).

The calculation module of the application was tested, we will consider the option of constructing an optimal schedule, with the number of data types equal to 3, the number of data of each type equal to 8 and the conveyor length equal to 3. An example of data entry is shown in picture 1.



Pic. 1. Test data

And also, in the «Время» tab we will set the matrix of package execution time for each data type, as well as the matrix of changeover time from one type to another. In the temporary processing duration matrix, the rows correspond to the device, and the columns correspond to data types. In the temporary changeover matrix, rows and columns correspond to data types, the changeover time from one type to the same type will be 0, since we do not

changeover the device when executing one package of a specific type, accordingly, the changeover matrix will have 0 on the main diagonal of the matrix. The test data can be seen in picture 2. At this stage, we will set the matrix values in such a format so that there is compliance with the heuristic rule that arranges packages according to the duration of changeovers.

	4	3	2
	4	3	2
▶	4	3	2

	0	8	8
	4	0	4
▶	2	2	0

Pic. 2. Temporary matrix values for testing

Let us calculate the optimal composition and estimate the optimal schedule, picture 3.

Количество типов данных: 3  
 Количество данных: 8  
 Длина конвейера: 3  
 Выполнить

Фиксированные: 148  
 F критерий: 124  
 q6 -> q3 -> q1  
 Фиксированные: 148  
 F критерий: 124  
 q6 -> q3 -> q2  
 Фиксированные: 148  
 F критерий: 124  
 q6 -> q3 -> q3

Pic. 3. Output of the result of calculating the optimal composition

An example of splitting job packages follows the following format according to the calculated indicators. The values in the chain q with the corresponding number are consistent with a certain partition of the packet, consider the optimal composition corresponding to q6->q3->q1, the composition for q1 will have the following format {3, 3, 2}, for q2 {4, 4} and finally for and finally for q3 {6,

2}, this is one of the options for splitting job batches to achieve an optimal estimate for the schedule.

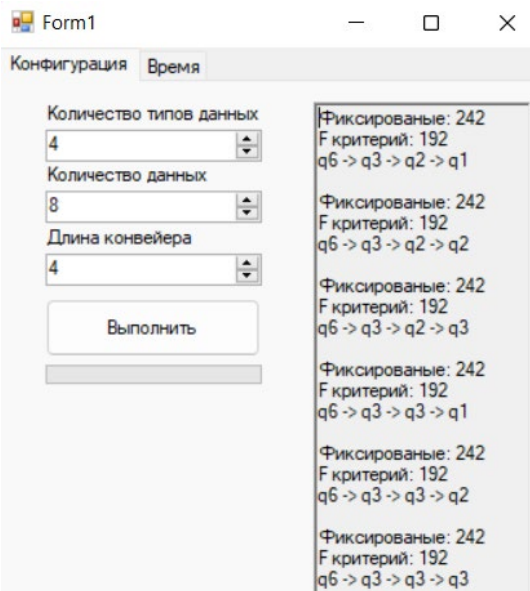
For example, let's increase the number of data types and the number of devices, and also edit the settings of the temporary matrices according to the following view, picture 4.

	5	4	3	1
	5	4	3	1
	5	4	3	1
▶	5	4	3	1

	0	8	8	8
	6	0	6	6
	4	4	0	4
▶	2	2	2	0

Pic. 4. Temporary matrices for the second testing

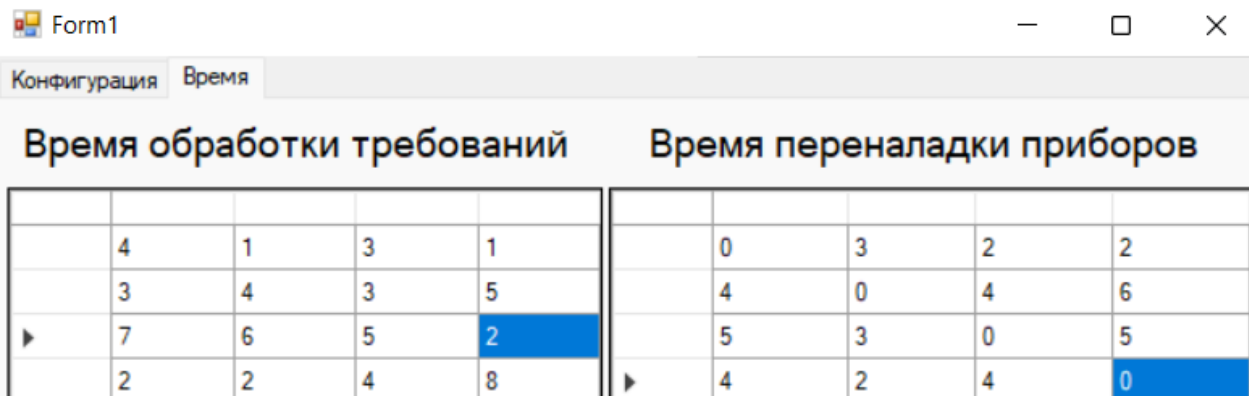
Let's launch the application. The calculation result for the current data is shown in picture 5.



Pic. 5. Results of program execution during the second testing

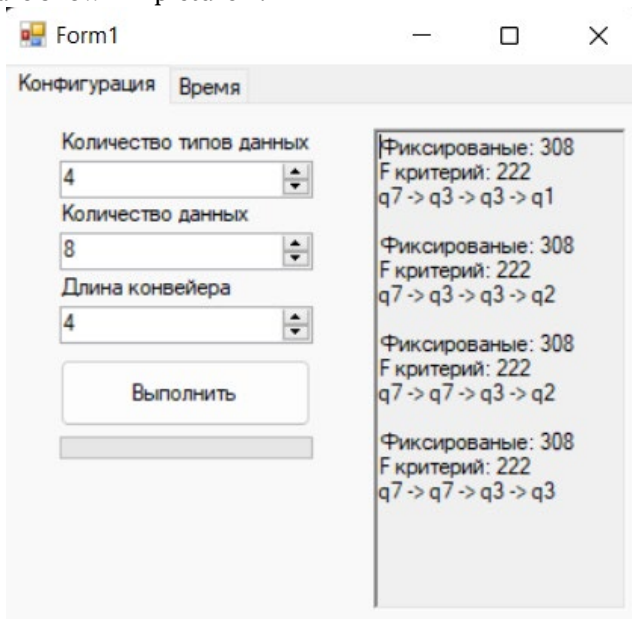
As can be seen from the examples of such a distribution, the first partition is always a variation of packets having a partition q6 {3, 3, 2}, you can set

such changeover indicators to change the priority, we will perform the setting according to the following form, picture 6.



Pic. 6. Changes in indicators of temporary matrices

The calculation results are shown in picture 7.

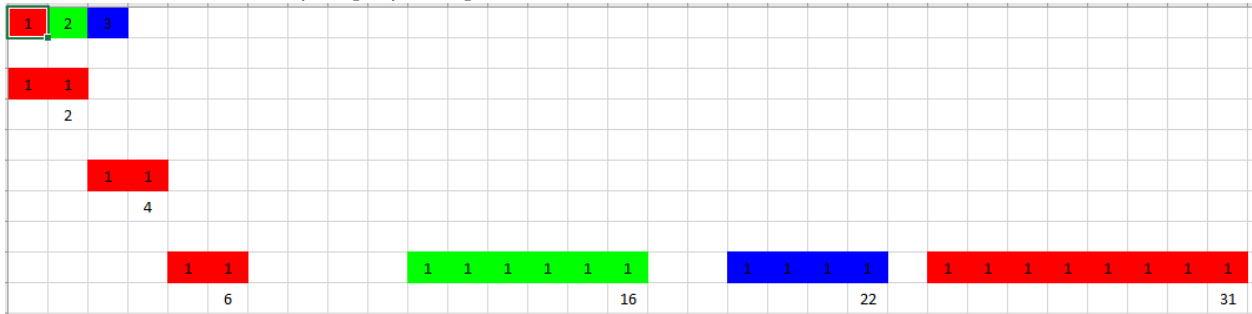


Pic. 7. Calculations when changing the values of temporary matrices

With this distribution of temporary matrices, you can see that the priority of choosing the partition of job packages has changed to q7, which corresponds to the following partition of the package {2, 2, 2, 2}.

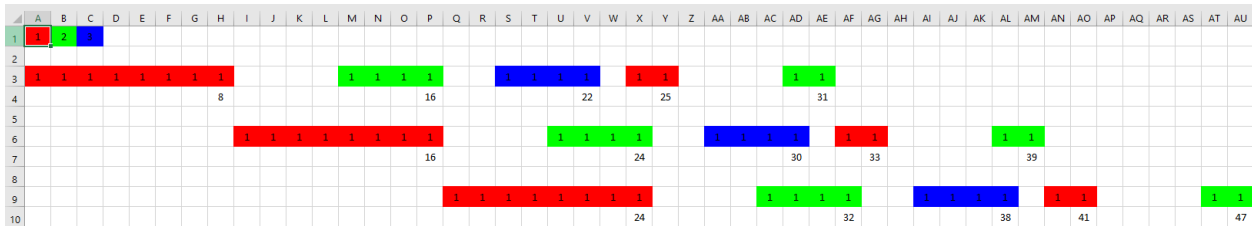
To demonstrate the possibility of adapting the replacement of the visualization module, a module was developed that controls the Excel application window, which also visually displays the process of

generating schedules, a fragment of the calculation interval is shown in picture 8, it is worth noting that the construction of schedules at each stage was carried out for a visual representation of the testing process, in the finalized version of the application the process of constructing variations will be used only to form one of the optimal composition options with numerical indicators for its evaluation.



Pic. 8. Intermediate option for constructing a schedule and calculating an estimate

One of the options for the constructed schedule using the graphical Excel control module is shown in picture 9.



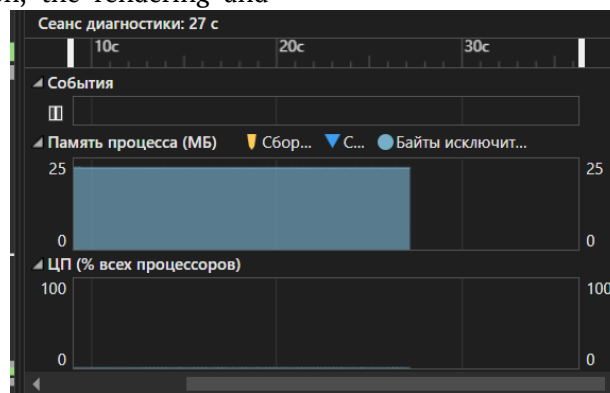
Pic. 9. Example of a built-in schedule using the Excel module

This example is more resource-intensive since managing the schedule rendering module takes up a certain amount of environment memory resources, and this library only provides access for cell-by-cell management in an Excel file, and each iteration of the output affects the calculation process too much and slows it down, for further testing in the profiling section, the rendering and

graphical presentation module will be disabled to correctly assess the resources spent.

The Visual Studio development environment provides very powerful tools for profiling developed applications.

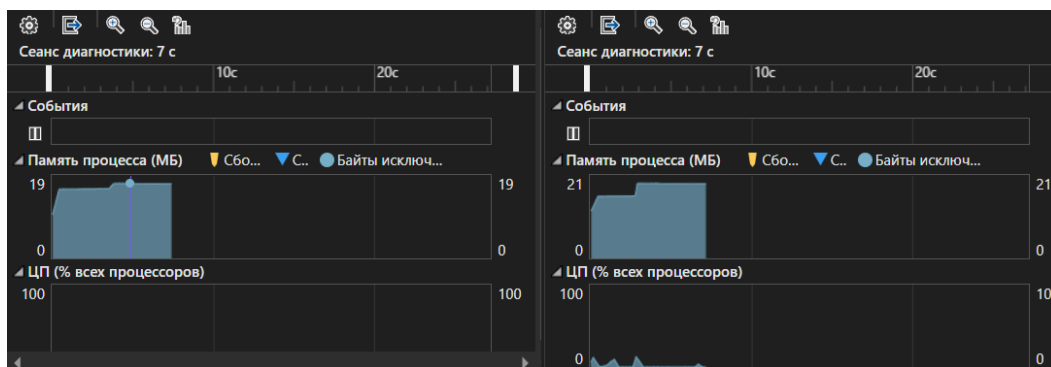
In picture 10 you can see a visual representation of the profiler in a graphical environment.



Pic. 10. Visual Studio profiling window

Let's launch the application and compare the resources spent when searching for the optimal schedule using the current solution, as well as

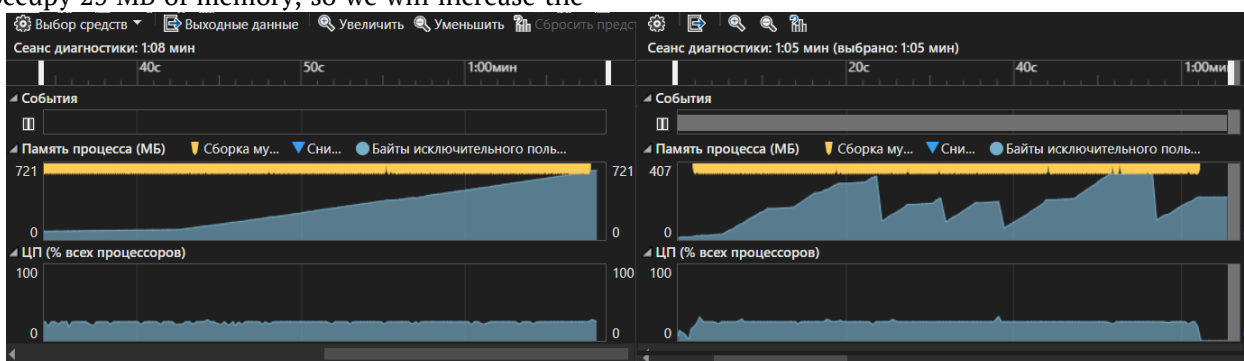
exhaustive search, picture 11, the test was performed for 4 types, on 4 devices, with the number of data types equal to 8.



Pic. 11. Comparison of calculation results

At small values and with a small number of task packages, the number of types and devices, it is difficult to show the advantage of execution since the application itself and its graphical shell already occupy 25 MB of memory, so we will increase the

number of data types to 6, the number of data to 16, and the number of devices to 5 and run the tests again, the execution result is shown in picture 12.



Pic. 12. Comparison of the current solution with a complete search using a large amount of data

Picture 12 shows a visual representation of the memory resources spent when calculating using exhaustive search (on the left) and the current solution (on the right), it is worth noting that the exhaustive search calculation began to fill the memory too quickly and did not even calculate the solution for the first subtree, which would correspond to a sharp a drop in occupied memory due to the «garbage collector», and in the figure on the right, during the same time, the current solution has already counted 4 subtrees, which is clearly visible from the corresponding jumps in occupied memory; it is also worth noting that the difference in peaks for each sub-tree is due to the cutting off of unpromising decisions.

**Conclusions**

A system was developed to optimize the scheduling of job batches in multi-stage systems using the branch-and-bound method.

The schedule was optimized by selecting the optimal composition of batches. The selection of optimal compositions was made using the branch and bound method, applying the evaluation criterion, which is the completion time of processing of all batches of tasks in the schedule, which was

taken from the last device that completed processing its last task.

The work describes a process that includes stages of information search, containing the search for similar optimization solutions, as well as building a model based on it.

The system is implemented using a modular structure through aggregation of modules, which allows you to configure and replace modules responsible for the formation of trains, their division, as well as heuristic rules for the distribution of task packages when creating a schedule. The system contains a processing module, which is designed for communication with external systems or devices; in this work, an example is considered using a graphical module to display a schedule tree, as well as its extension for displaying a schedule using the Excel driver, which is part of the .Net framework.

Thus, we can conclude that the assigned tasks were solved, namely:

- the relevance of the solution to optimize the execution of task packages is substantiated;
- an analysis of existing solutions and their shortcomings was carried out;



- an algorithm for generating optimal batch compositions for constructing schedules is described;
- a system has been developed to optimize the schedule for executing batches of tasks;
- testing and analysis of the effectiveness of the current solution was carried out in comparison with exhaustive search.

The efficiency analysis was carried out by comparing the time and resource indicators of the system when performing calculations using the branch and bound method, as well as the exhaustive search method.

### References

1. Лазарев А.А., Гафаров Е.Р. Теория расписаний. Задачи и алгоритмы. – М.: Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова (МГУ), 2011. – 222 с.
2. AnyLogic: Имитационная система моделирования [Электронный ресурс]. URL: <https://www.anylogic.ru> (дата обращения: 05.01.2022).
3. HYDRA: Система оперативного планирования и диспетчеризации [Электронный ресурс]. URL: <https://indusoft.ru/products/mpdv/HYDRA> (дата обращения: 07.01.2022).
4. PHARIS: Система управления производственными процессами [Электронный ресурс]. URL: [http://tersys.ru/images/5/58/Pharis\\_info.pdf](http://tersys.ru/images/5/58/Pharis_info.pdf) (дата обращения: 08.01.2022).
5. GraphViz: Open source graph visualization software [Электронный ресурс]. URL: <https://graphviz.org> (дата обращения: 08.01.2022).
6. Танаев В.С., Сотсков Ю.Н., Струсович В.А. Теория расписаний. Многостадийные системы. – М.: «Наука», Гл. ред. физ.-мат. лит., 1989. – 328 с.
7. Ковалев М.М. Модели и методы календарного планирования. Курс лекций. / М.М. Ковалев. Минск: Изд-во БГУ, 2004. – 63 с.
8. Кротов К.В. Комплексный метод определения эффективных решений по составам партий данных и расписаниям их обработки в конвейерных системах // Вычислительные технологии, Изд-во Института вычислительных технологий СО РАН, Том 23, №3, 2018. – С. 58-76.
9. Кротов К.В. Многоуровневая модель построения расписаний обработки партий данных в конвейерных системах при формировании комплектов и наличии ограничений // СПб.: Труды СПИИРАН, 2016, Вып. 4(47). С. 65-91.

### ВОРОНКИН Вадим Александрович

студент, Севастопольский государственный университет,  
Россия, г. Севастополь

## РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ОПТИМИЗАЦИИ ВЫПОЛНЕНИЯ ПАКЕТОВ ЗАДАНИЙ В МНОГОСТАДИЙНЫХ СИСТЕМАХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДА ВЕТВЕЙ И ГРАНИЦ

**Аннотация.** Объектом исследования является система оптимизации выполнения пакетов заданий. Цель работы разработать приложение по построению и оптимизации расписания выполнения пакетов заданий для многостадийной системы. Система предназначена для использования в рамках предприятий, занимающихся производством различной продукции, для оптимизации процесса ее создания. Система реализована для операционной системы Windows с использованием Windows Forms для создания интерактивных приложений. Позволяет составлять и оптимизировать расписания для производства продукции на предприятиях. Степень внедрения – система предназначена для внедрения на производственные предприятия, базирующиеся на конвейерном производстве.

**Ключевые слова:** пакеты заданий, прибор, метод ветвей и границ, оптимизация, конвейерные системы, расписание, многостадийная система, длительность обработки заданий, длительность переналадки приборов, критерий, фиксированные партии.



10.5281/zenodo.10842459

**АДЕЩЕНКО Кирилл Русланович**  
руководитель мобильной разработки, РСХБ-Интех,  
Россия, г. Москва

## ИНСТРУМЕНТЫ КРОССПЛАТФОРМЕННОЙ РАЗРАБОТКИ: СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ

**Аннотация.** Во введении обосновывается актуальность исследования инструментов для кроссплатформенной разработки мобильных приложений в условиях многоплатформенности современных IT-решений. Отмечается обилие доступных на рынке технологий данного класса, что затрудняет их выбор разработчиками. Формулируется цель работы - провести сравнительный анализ популярных инструментов кроссплатформенной разработки по ряду критериев. Далее приводится краткий обзор научных публикаций в данной предметной области. Констатируется отсутствие комплексных исследований, охватывающих широкий спектр современных решений с учетом последних тенденций. В разделе "Материалы и методы" перечислены рассмотренные в работе инструменты кроссплатформенной разработки - популярные мобильные фреймворки и гибридные платформы (React Native, Flutter, Xamarin, Ionic, Kotlin, Cordova; и др.). Приведены критерии их сравнительной оценки. Далее представлены результаты анализа возможностей каждого из рассмотренных инструментов в соответствии с заданными критериями. Выделены сильные и слабые стороны различных подходов. Приведена сводная таблица сравнения. В разделе "Обсуждение" сформулированы практические рекомендации по выбору оптимальных платформ кроссплатформенной разработки мобильных приложений для решения задач различных классов. В заключении обобщаются результаты проведенной работы и отмечается их практическая значимость для обоснованного принятия решений о технологиях разработки кроссплатформенных мобильных приложений. Таким образом, в статье представлен систематический анализ широкого спектра современных инструментов кроссплатформенной разработки с последующими практическими рекомендациями по их применению, что восполняет имеющийся в литературе пробел.

**Ключевые слова:** кроссплатформенная разработка, мобильные приложения, сравнительный анализ, фреймворки, гибридные приложения.

### Введение

В современном мире, несмотря на стремительное развитие цифровых технологий и многоплатформенность программных решений, остро стоит **проблема** обеспечения кроссплатформенной совместимости и синхронизации программного обеспечения на различных операционных системах и устройствах. Для решения данной проблемы активно применяются специализированные инструменты кроссплатформенной разработки программного обеспечения, основными функциями которых

являются: абстрагирование от платформенной специфики, унификация интерфейсов программирования приложений (API), обеспечение совместимости с различными операционными системами (ОС) и их версиями.

Однако в условиях цифрового расширения возникают определенные сложности. Только количество разработчиков программного обеспечения в 2024 году относительно 2018 года увеличилось более, чем на 5 миллионов, достигнув цифры 28.7 млн. человек (рис. 1) [7].

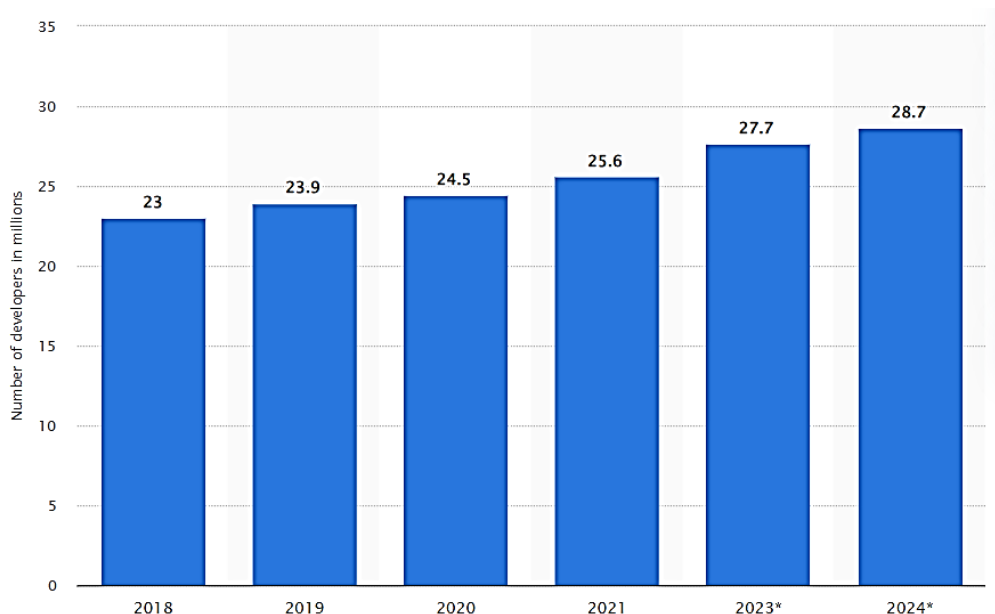


Рис. 1. Количество разработчиков программного обеспечения во всем мире в 2018-2024 годах

В свою очередь, обилие представленных на рынке инструментов кроссплатформенной разработки делает выбор оптимального решения конкретными разработчиками программного обеспечения и организациями все более

трудным. Согласно исследованиям, данный рынок развивается слишком динамично, чтобы стандартный пользователь мог определиться с конкретным инструментом для работы (рис. 2) [6].

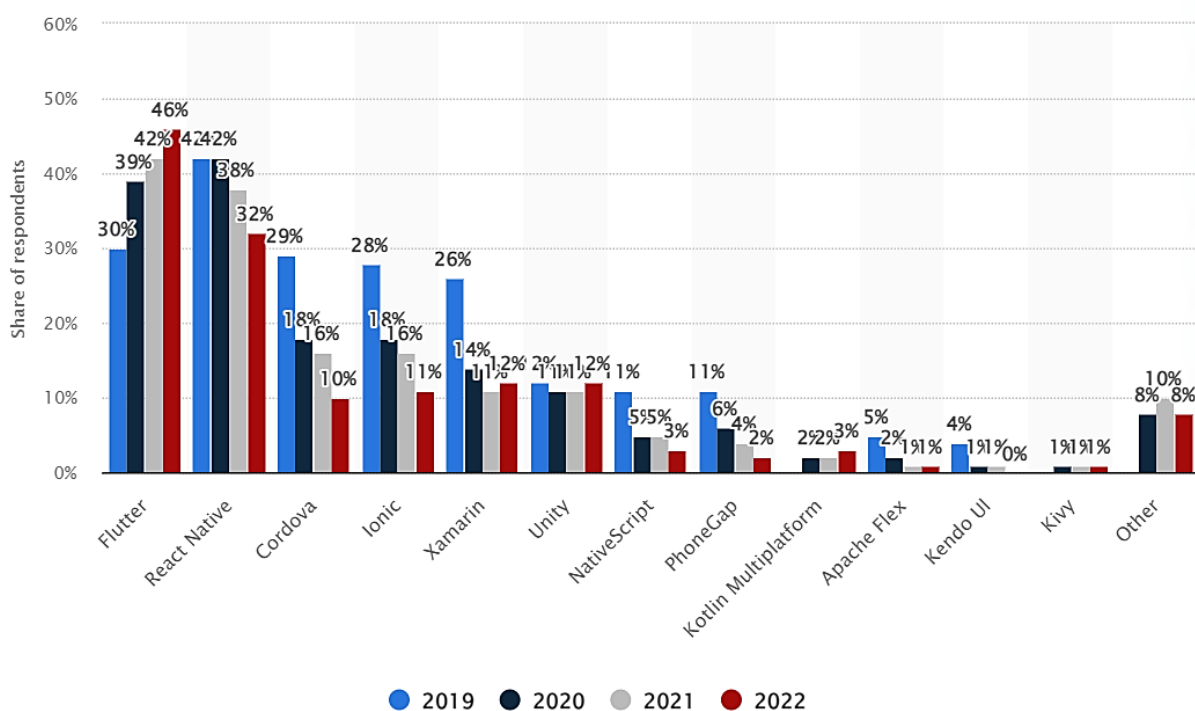


Рис. 2. Кроссплатформенные мобильные фреймворки, используемые разработчиками программного обеспечения по всему миру в период с 2019 по 2022 год

В связи с этим, цель данного исследования – провести сравнительный анализ наиболее популярных на текущий момент инструментов кроссплатформенной разработки программного обеспечения.

Задачи:

1. Провести обзор научных публикаций последних 5 лет, посвященных инструментам и технологиям кроссплатформенной разработки мобильных приложений.

2. Выделить наиболее популярные в настоящее время инструменты (фреймворки) для создания кроссплатформенных мобильных приложений.

3. Сформулировать критерии для сравнительной оценки рассматриваемых инструментов кроссплатформенной разработки.

4. Провести сравнительный анализ выбранных инструментов на основе сформулированных критериев.

5. Обобщить результаты сравнения, выделив сильные и слабые стороны каждого из рассмотренных решений.

6. Дать рекомендации по выбору оптимальной платформы кроссплатформенной разработки для решения различных задач.

### Обзор литературы

В научной литературе имеется ряд публикаций, посвященных анализу инструментов кроссплатформенной разработки мобильных приложений.

Так, Магомедов О.Р. и Чернышёв С.А. [3] в своей статье 2022 года в Международном журнале информационных технологий и энергоэффективности рассмотрели наиболее популярные на тот момент решения для кроссплатформенной разработки: React Native, Xamarin, Kotlin Multiplatform Mobile и Flutter. В качестве критериев сравнения авторы использовали поддерживаемые платформы, удобство разработки, качество выходного продукта, развитость сообщества и сложность входа в разработку. В результате было показано, что рассмотренные фреймворки имеют близкую производительность. К сожалению, анализ не включает некоторые перспективные решения, например, Ionic, NativeScript или PhoneGap.

В работе Киселева М.С. с соавторами [2], представленной в сборнике международной конференции 2023 года, дано сравнение фреймворков QT Framework и .NET Framework с точки зрения поддержки языков программирования, целевых платформ, а также предоставляемого инструментария и экосистемы.

Смирнова А.Е. [4] в своей статье 2024 года в сборнике международной конференции анализирует достоинства и недостатки конкретного инструмента кроссплатформенной разработки – Xamarin. Автор выделяет удобство единого языка программирования C#, возможности построения гибкой архитектуры приложений, ограниченный доступ к библиотекам и

небольшое сообщество разработчиков в качестве основных характеристик данного решения. Однако исследование не позволяет сопоставить потенциал Xamarin с другими инструментами этого класса.

В работе Серикова И.А. [5], опубликованной в сборнике международной конференции 2019 года, представлено сравнение популярных платформ кроссплатформенной разработки – PhoneGap, React Native и Flutter. Автор отмечает преимущества каждой из рассмотренных платформ.

Однако существующие на данный момент обзоры в основном сфокусированы на анализе отдельных инструментов либо проводят сравнение ограниченного набора решений для кроссплатформенной разработки. Комплексного исследования, учитывающего последние тенденции в этой области и включающего современные популярные фреймворки, пока не представлено. Помимо того, некоторые публикации ориентированы на анализ решений применительно к конкретным предметным областям. Например, в статье Магомедова О.Р. и Чернышёва С.А. [3] акцент сделан на применении рассматриваемых фреймворков в сфере электронной коммерции. Работа Киселева М.С. с соавторами [2] посвящена сравнению инструментов для разработки кроссплатформенных приложений в целом, без привязки к каким-либо отраслевым особенностям.

Данная работа призвана восполнить этот пробел и представить систематический анализ и сравнение широкого спектра инструментов кроссплатформенной разработки по ряду важных критериев. Это позволит дать обоснованные рекомендации по выбору оптимальных решений для построения мобильных приложений с учетом последних тенденций в этой области.

### Материалы и методы

Для проведения сравнительного анализа инструментов кроссплатформенной разработки мобильных приложений в данном исследовании были рассмотрены две основные группы решений:

1. Кроссплатформенные фреймворки: React Native, Flutter, Xamarin, Ionic, Kotlin Multiplatform. Данные фреймворки позволяют создавать мобильные приложения для нескольких платформ (Android, iOS, Windows) на основе единого кода.

2. Гибридные фреймворки: Apache Cordova, Adobe PhoneGap, Appcelerator Titanium. Эти инструменты основаны на технологиях веб-разработки и используют для создания приложений HTML, CSS и JavaScript, что обеспечивает кроссплатформенную совместимость.

Основное отличие между двумя группами состоит в подходах к разработке пользовательского интерфейса и взаимодействия с нативными API мобильных платформ. Кроссплатформенные фреймворки позволяют создавать интерфейс, максимально приближенный к нативным приложениям, в то время как гибридные используют веб-интерфейс, отрисовываемый через мобильный браузер.

Для проведения сравнительной оценки был выбран ряд ключевых критериев:

- Производительность (скорость работы, потребление памяти и батареи).
- Визуальная составляющая (возможности интерфейса).
- Доступ к нативным функциям платформы.
- Сложность освоения и разработки.
- Размер приложений.

На основе экспертной оценки по каждому параметру было проведено позиционирование рассматриваемых инструментов с выделением их сильных и слабых сторон. Это позволило дать рекомендации по выбору оптимальных платформ и фреймворков кроссплатформенной разработки мобильных приложений для решения различных задач.

### Результаты

Результаты проведенного исследования позволили осуществить сравнительную оценку потенциала рассматриваемых инструментов кроссплатформенной разработки мобильных приложений по ряду значимых критериев.

Что касается фреймворка React Native, то анализ его возможностей выявил высокую производительность, обусловленную нативной отрисовкой пользовательского интерфейса и прямым взаимодействием с платформенными API. Это обеспечивает плавность анимации и отклика приложений на базе React Native. Однако некоторый разрыв в скорости работы с нативными приложениями все еще присутствует. Визуализация интерфейса также близка к нативной, однако отсутствует полная идентичность в отображении на разных платформах,

что несколько ограничивает воздействие бренда. Доступ к функциям устройства реализован в React Native посредством специальных оберток, что усложняет использование сложных системных API. В плане сложности освоения данный фреймворк предъявляет требования к знанию JavaScript, однако Еcosystem React облегчает разработку для веб-программистов. При этом размер приложений React Native близок к нативным аналогам, а сообщество разработчиков является одним из самых больших.

Фреймворк Flutter демонстрирует выдающуюся производительность, не уступая по скорости работы нативным приложениям. Это достигается за счет собственного механизма визуализации Flutter Engine, работающего независимо от интерфейса платформы. При этом визуальная составляющая полностью идентична между ОС, а доступ к нативным API реализован посредством плагинов Dart. Освоение Flutter требует изучения специфического языка программирования Dart, однако сама разработка после этого протекает очень быстро и продуктивно. Приложения на Flutter весьма компактны, а сообщество разработчиков стремительно растет на фоне интереса к этому решению среди IT-специалистов.

Фреймворк Xamarin также позволяет достичь высокой скорости работы за счет связи с нативными API через обертки C#. Пользовательский интерфейс максимально приближен к платформенному, однако также имеет некоторые различия в отрисовке GUI. Интеграция со сложными нативными функциями возможна, но требует дополнительных усилий разработчика. Углубленные знания C# необходимы для освоения Xamarin, зато дальнейшая разработка идет быстро с использованием знакомых для .NET программистов инструментов. Размер приложений несколько уступает нативным, однако экосистема Xamarin и сообщество разработчиков достаточно развиты.

Что касается инструмента Ionic Framework, то его основное преимущество заключается в базировании на широко распространенных веб-технологиях – HTML, CSS и JavaScript. Это обеспечивает сверхнизкий порог входа для веб-разработчиков и возможность максимально быстрого создания кроссплатформенных мобильных приложений «из коробки». Вместе с тем, опора на интерпретируемые веб-

технологии накладывает ощутимые ограничения на производительность – приложения на Ionic уступают по скорости работы как нативным решениям, так и кроссплатформенным фреймворкам вроде React Native. Еще одним компромиссом является GUI – для имитации нативных интерфейсов используются веб-компоненты Ionic Framework, что не гарантирует полного визуального соответствия на всех платформах. Взаимодействие с аппаратными средствами и ОС реализуется через Cordova, что упрощает использование базовых системных сервисов, но затрудняет работу со сложными нативными функциями. Сообщество Ionic также уступает по масштабам основным мобильным платформам, хотя насчитывает все же десятки тысяч разработчиков по всему миру.

Рассматривая потенциал фреймворка Kotlin Multiplatform для кроссплатформенной разработки, следует выделить ряд его ключевых особенностей. Во-первых, данная технология ориентирована преимущественно на мобильные платформы и позволяет создавать приложения для Android и iOS с использованием общей кодовой базы на языке Kotlin. Это избавляет от необходимости дублирования кода под каждую ОС, ускоряя тем самым разработку. В плане производительности приложения на основе Kotlin Multiplatform также показывают высокие результаты, поскольку бизнес-логика выполняется нативно, без интерпретации кода во время исполнения. Взаимодействие общей кодовой базы с платформенно-зависимой частью осуществляется посредством специального интерфейса. Это позволяет гибко наращивать функциональность под особенности конкретных мобильных ОС. Однако для полноценного использования возможностей этого подхода требуется создание пользовательских интерфейсов индивидуально под iOS и Android, что усложняет разработку и не гарантирует полного визуального соответствия на разных платформах. В плане доступа к нативным API использование Kotlin и возможностей интерфейсного взаимодействия между общей и платформенно-специфичными частями приложения упрощает интеграцию со сложными системными функциями конкретных мобильных ОС. Освоение Kotlin Multiplatform требует знания языка Kotlin и опыта разработки для Android, что заметно повышает порог входа по сравнению с веб-технологиями, но кодируется

при этом очень производительно и компактно, экономя ресурсы устройств.

Анализируя группу гибридных фреймворков для кроссплатформенной разработки мобильных приложений, прежде всего стоит отметить их основное преимущество - использование популярных веб-технологий, таких как HTML, CSS и JavaScript. Это позволяет веб-разработчикам с минимальными дополнительными усилиями создавать кроссплатформенные мобильные приложения.

Apache Cordova, как и любое гибридное решение, имеет выраженные ограничения в этом аспекте. Интерпретация JavaScript кода в среде веб-представления существенно снижает скорость работы по сравнению с нативными приложениями. Оптимизации, внедряемые разработчиками Cordova, лишь отчасти компенсируют этот недостаток платформы, ориентированной на веб-технологии. Визуальная составляющая интерфейсов Cordova формируется посредством каскадных таблиц стилей и HTML разметки, что также накладывает ограничения на внешний вид приложений и их соответствие фирменному стилю на различных мобильных ОС. На этапе разработки предоставляются наборы UI-элементов, имитирующие нативные компоненты платформ, однако степень сходства не является полной. Что касается интеграции с функциями мобильных платформ, то интерфейс Cordova позволяет абстрагироваться от низкоуровневого взаимодействия с ОС и предоставлять JavaScript приложениям доступ к базовым системным возможностям устройств (фото- и видеочамера, файловая система, журнал событий и др.) через JavaScript API. Однако использование специфических для конкретных платформ функций и сервисов по-прежнему остается затруднительным. С точки зрения сложности освоения Apache Cordova предъявляет минимальные требования для веб-разработчиков, владеющих HTML, CSS и JavaScript. Фактически для создания гибридных приложений не требуется изучать новые языки программирования и фреймворки. Вместе с тем для полноценного использования нативных возможностей мобильных устройств требуются дополнительные знания уже в области конкретных платформ.

Рассматривая следующее популярное гибридное решение - Adobe PhoneGap, стоит отметить, что по своей сути оно представляет

расширенную экосистему на базе описанного выше Apache Cordova. Поэтому практически по всем ключевым критериям PhoneGap показывает схожие характеристики производительности, визуализации интерфейса и интеграции с нативными API.

Однако наличие дополнительных инструментов и сервисов в составе PhoneGap существенно расширяет возможности разработчиков и упрощает создание полноценных гибридных мобильных приложений "из коробки". Это и конструктор визуальных интерфейсов на основе Adobe UX инструментов, и облачные сервисы тестирования и мониторинга приложений PhoneGap Build, и компонент интеграции с мобильными бекендами Adobe PhoneGap Enterprise. Таким образом PhoneGap предлагает гораздо более обширную экосистему по сравнению с чистым Cordova. Соответственно для разработчика доступно гораздо больше готовых инструментов для ускорения создания гибридных приложений.

В плане сложности освоения PhoneGap также предъявляет минимальные требования к опыту кодирования – достаточно базовых навыков HTML, CSS и JavaScript. При этом большой объем дополнительных UI конструкторов и инструментов делает работу в PhoneGap еще более простой в освоении по сравнению с Cordova.

Рассматривая еще один распространенный инструмент гибридной мобильной разработки Appcelerator Titanium, следует выделить ряд его основных особенностей. Данная платформа

ориентирована преимущественно на опытных веб-разработчиков и предоставляет больше возможностей по сравнению с Cordova для создания относительно сложных кроссплатформенных приложений с использованием JavaScript.

Appcelerator Titanium использует собственный интерпретатор JavaScript кода, работающий непосредственно через нативные API мобильных ОС за счет специальных мостов. Это позволяет повысить производительность по сравнению с HTML/CSS решениями, где весь интерфейс рендерится через веб-представление. Вместе с тем все же сохраняется гораздо более низкая скорость работы по сравнению с полностью нативными или кроссплатформенными приложениями.

Отрисовка интерфейсов в Titanium осуществляется полностью программно на JavaScript с использованием собственных UI элементов, что дает хорошую гибкость в разработке, но не решает проблему визуального соответствия на разных платформах. Взаимодействие с нативными API мобильных ОС выполняется эффективнее, чем в Cordova, за счет описанных выше архитектурных особенностей Titanium. Для Frontend разработчиков, знакомых с JavaScript, освоение данной платформы будет относительно простым. Однако Titanium все же предъявляет повышенные требования к квалификации по сравнению с другими гибридными решениями.

Результаты нашего сравнительного исследования обобщены в таблице ниже (таб.).

Таблица

**Сравнительная характеристика инструментов кроссплатформенной разработки мобильных приложений**

Критерий / Инструмент	Кроссплатформенные фреймворки					Гибридные платформы кроссплатформенной разработки		
	React Native	Flutter	Xamarin	Ionic	Kotlin Multiplatform	Apache Cordova	Adobe PhoneGap	Appcelerator Titanium
Производительность	Высокая, близка к нативным приложениям	Выдающаяся, не уступает нативным	Высокая благодаря связи с нативными API	Низкая из-за использования интерпретируемых веб-технологий	Высокая благодаря нативному выполнению бизнес-логики	Низкая из-за интерпретации JS в веб-представлении	Как у Apache Cordova	Выше, чем у HTML/CSS, но ниже нативных
Визуальная составляющая	Очень близка к нативным, но без 100% идентичности	100% идентична на всех платформах	Макс. приближена к нативным, есть различия	Имитация нативных интерфейсов через веб-компоненты	Требует разработки UI отдельно под iOS и Android	Формируется через HTML/CSS, ограниченное визуальное соответствие	Как у Apache Cordova	JS без визуального соответствия на платформах

Критерий / Инструмент	Кроссплатформенные фреймворки					Гибридные платформы кроссплатформенной разработки		
	React Native	Flutter	Xamarin	Ionic	Kotlin Multiplatform	Apache Cordova	Adobe PhoneGap	Appcelerator Titanium
Доступ к нативным функциям	Через обертки, усложняет сложные API	Через плагины Dart	Требует доп. усилий для сложных API	Через Cordova, сложные API сложны в использовании	Интерфейс обеспечивает гибкую интеграцию	Доступ к базовым, сложные затруднены	Как у Apache Cordova	Лучше, чем Cordova за счет мостов
Сложность освоения	Требует знания JS, экосистема React упрощает	Необходимо изучение Dart	Нужны углубленные знания C#	Мин. требования для знания HTML/JS/CSS	Требует знания Kotlin и опыт по Android	Минимальные требования к HTML/JS/CSS	Как у Cordova, доп. инструменты упрощают	Повышенные требования к JS по сравнению с другими
Размер приложений	Близок к нативным	Компактные	Чуть больше нативных	-	Экономные за счет Kotlin	-	Как у Apache Cordova	-

### Обсуждение

Проведя сравнительный анализ ключевых инструментов кроссплатформенной разработки мобильных приложений на основе ряда значимых критериев, мы получаем объективную информацию для выработки взвешенных рекомендаций по выбору оптимальной платформы в зависимости от целей, требований и ограничений конкретного проекта.

Рассматривая показатели производительности приложений на базе проанализированных фреймворков, следует констатировать явное превосходство решений Flutter и React Native. Эти инструменты демонстрируют высокую скорость работы за счет использования нативных механизмов отрисовки графического интерфейса и компиляции кода, избегая потерь производительности при интерпретации, характерной для гибридных веб-приложений. Данный фактор имеет первостепенную важность для ресурсоемких приложений с высокой вычислительной нагрузкой, компьютерной графикой и анимацией, к которым в первую очередь относятся мобильные игры и сервисы дополненной реальности.

В отношении визуальной идентичности мобильного приложения на различных платформах следует выделить возможности фреймворка Flutter. Используя собственный механизм отрисовки графического интерфейса, данная технология гарантирует полное визуальное соответствие между мобильными операционными системами. Этот аспект имеет большое значение для брендированных корпоративных приложений, где критично

воспроизведение фирменного стиля и дизайна на любых устройствах.

Что касается интеграции со сложными нативными API операционных систем мобильных устройств, то здесь определенные преимущества продемонстрировали инструменты Xamarin и Kotlin Multiplatform. Используя взаимодействие с нативным кодом и модель распределенного исполнения общей и платформенно-специфичной частей приложения, эти технологии позволяют эффективно взаимодействовать с глубинными функциями мобильных ОС при создании высокотехнологичных и наукоемких корпоративных систем.

Обобщая вышесказанное, можно сформулировать следующие основные рекомендации по выбору оптимальной платформы кроссплатформенной разработки мобильных приложений для задач различного класса:

- Разработка мобильных игр и приложений дополненной реальности – React Native, Flutter.
- Создание корпоративных систем с высокими требованиями к производительности – React Native, Flutter.
- Реализация брендированных мобильных сервисов, критичных к дизайну – Flutter.
- Интеграция со сложными нативными API мобильных ОС – Xamarin, Kotlin Multiplatform.
- Быстрая разработка простых мобильных приложений – гибридные фреймворки.

Данные рекомендации могут служить основой для принятия оптимального решения о выборе платформы разработки



кроссплатформенных мобильных приложений под конкретные цели и задачи проекта с учетом имеющихся ресурсов и ограничений.

### Заключение

В данной работе был проведен сравнительный анализ ключевых инструментов для кроссплатформенной разработки мобильных приложений, в том числе популярных кроссплатформенных фреймворков (React Native, Flutter, Xamarin, Ionic, Kotlin Multiplatform) и гибридных платформ на основе веб-технологий (Apache Cordova, Adobe PhoneGap, Appcelerator Titanium). Проведенный анализ показал, что наибольшую производительность и скорость работы демонстрируют приложения, разработанные с использованием фреймворков React Native и Flutter. Эти решения максимально приближаются к нативным по швидкодействию. С точки зрения полного визуального соответствия на различных мобильных платформах лучшие результаты продемонстрировал Flutter, использующий собственный механизм отрисовки интерфейса. Что касается интеграции со сложными системными API мобильных ОС, то здесь наилучшие возможности предоставляют Xamarin и Kotlin Multiplatform за счет тесной связи с нативным кодом.

Гибридные решения на основе веб-технологий (Apache Cordova, PhoneGap) обеспечивают кроссплатформенную разработку с минимальными усилиями для освоения, однако существенно уступают по быстродействию и ограничены в доступе к нативным функциям.

По результатам исследования даны практические рекомендации по выбору оптимальной платформы разработки для приложений различных классов. Полученные выводы могут служить основой для принятия взвешенного решения о технологиях кроссплатформенной разработки мобильных приложений с учетом целей, требований и ограничений конкретных проектов.

### Литература

1. Инструменты мобильной кроссплатформенной разработки приложений / А. В. Недяк, О. Ю. Рудзейт, А. Р. Зайнетдинов, П. Г. Рагулин // Отходы и ресурсы. – 2020. – Т. 7, № 4. – С. 13. – DOI 10.15862/13INOR420. – EDN XUUUJU.
2. Киселев, М. С. Сравнение QT Framework и .NET Framework для разработки приложений / М. С. Киселев, И. Н. Симонов, Л. В. Гаев // Цифровая среда как инструмент модернизации и инновационного развития : Сборник статей по итогам Международной научно-практической конференции, Киров, 27 июня 2023 года. – Стерлитамак : Общество с ограниченной ответственностью "Агентство международных исследований", 2023. – С. 69-72.
3. Магомедов, О. Р. Анализ существующих инструментов для кроссплатформенной разработки приложений / О. Р. Магомедов, С. А. Чернышев // Международный журнал информационных технологий и энергоэффективности. – 2022. – Т. 7, № 1(23). – С. 17-24.
4. Смирнова, А. Е. Плюсы и минусы инструмента для кроссплатформенной разработки мобильных приложений Xamarin / А. Е. Смирнова // Современные тенденции развития системы подготовки обучающихся: региональная практика : Материалы международной научной конференции, Красноярск, 12 декабря 2023 года. – Красноярск: Красноярский государственный аграрный университет, 2024. – С. 166-168.
5. Сериков, И. А. Сравнение инструментов для кроссплатформенной разработки мобильных приложений / И. А. Сериков // Современные материалы, техника и технология : Сборник научных статей 9-й Международной научно-практической конференции. В 2-х томах, Курск, 28 декабря 2019 года / Ответственный редактор А.А. Горохов. Том 2. – Курск: Юго-Западный государственный университет, 2019. – С. 236-242. – EDN ZSUXKP.
6. Cross-platform mobile frameworks used by software developers worldwide from 2019 to 2022 // Statista. URL: <https://www.statista.com/statistics/869224/world-wide-software-developer-working-hours/> (дата обращения: 28.02.2024)
7. Number of software developers worldwide in 2018 to 2024 // Statista. URL: <https://www.statista.com/statistics/627312/world-wide-developer-population/> (дата обращения: 28.02.2024)

**ADESHCHENKO Kirill Ruslanovich**

Head of mobile development, Russian Agricultural Bank,  
Russia, Moscow

## **CROSS-PLATFORM DEVELOPMENT TOOLS: COMPARATIVE ANALYSIS**

**Abstract.** *The introduction substantiates the relevance of the study of tools for cross-platform development of mobile applications in the context of the multiplatform nature of modern IT solutions. There is an abundance of technologies of this class available on the market, which makes it difficult for developers to choose them. The purpose of the work is formulated - to conduct a comparative analysis of popular cross-platform development tools according to a number of criteria. The following is a brief overview of scientific publications in this subject area. There is a lack of comprehensive research covering a wide range of modern solutions, taking into account the latest trends. The section "Materials and Methods" lists the cross-platform development tools considered in the work - popular mobile frameworks and hybrid platforms (React Native, Flutter, Xamarin, Ionic, Kotlin, Cordova; etc.). The criteria for their comparative evaluation are given. The following are the results of an analysis of the capabilities of each of the considered tools in accordance with the specified criteria. The strengths and weaknesses of various approaches are highlighted. A summary comparison table is provided. In the Discussion section, practical recommendations are formulated on choosing the optimal platforms for cross-platform development of mobile applications for solving problems of various classes. In conclusion, the results of the work carried out are summarized and their practical significance for informed decision-making on technologies for developing cross-platform mobile applications is noted. Thus, the article presents a systematic analysis of a wide range of modern cross-platform development tools with subsequent practical recommendations for their use, which fills the gap in the literature.*

**Keywords:** *cross-platform development, mobile applications, comparative analysis, frameworks, hybrid applications.*

# АРХИТЕКТУРА, СТРОИТЕЛЬСТВО

**БАРАНОВА Наталья Вячеславовна**

магистрантка, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, Россия, г. Москва

*Научный руководитель – доцент кафедры архитектуры Национального исследовательского Московского государственного строительного университета* **Финогенов Александр Иванович**

## АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ РЕНОВАЦИИ НЕЭКСПЛУАТИРУЕМЫХ ПРОМЫШЛЕННЫХ ЗДАНИЙ В СОВРЕМЕННОМ ГОРОДЕ

**Аннотация.** В статье анализируются актуальные проблемы реновации бывших неэксплуатируемых промышленных зданий и их адаптации к структуре современного города. В ряде случаев прежние исторически сохранившиеся производственные здания в структуре городской территории оказываются заброшенными, при этом они занимают значительные территории и негативным образом влияют на облик городской среды. В результате данное явление обуславливает потребность в реновации и поиске вариативных решений для повторного использования бывших промышленных зданий и их территорий. В данной статье проблема рассматривается на примере отечественной и зарубежной практики, а также анализа научной литературы. Выявлены и проанализированы перспективные направления нового функционального назначения производственных зданий и их территорий в процессе реновации. Даны рекомендации по совершенствованию методических приемов реновации производственных зданий разных этапов строительства с проведением обоснованного комплексного анализа.

**Ключевые слова:** реновация, тип, период, бывшие сохранившиеся неэксплуатируемые промышленные здания, направления реновации, памятник архитектуры, городская среда.

В настоящее время в структуре современных городов весьма актуальна область архитектурного проектирования, связанная с совершенствованием приемов реновации и реконструкции сохранившихся промышленных объектов, относящихся к историческому этапу бурного промышленного развития России периода второй половины XIX-начала XX века, которые, как правило, исторически размещаются в границах центральных частей городских территорий [1]. Промышленное производство в этот период было во многом связано с развитием сети текстильных предприятий-мануфактур, многие из которых впоследствии стали интересными объектами реновации. К ним относятся, например, такие известные объекты, расположенные на территории Москвы, как Ивановская, Даниловская, Голутвинская бывшие мануфактуры, а также аналогичные предприятия в других городах.

Характерным является и последующий этап середины и конца XX века, для которого, благодаря достижениям в области производственных технологий и механизации строительства, в период шестидесятых годов прошлого века были созданы условия, обеспечившие бурное развитие промышленного строительства. Например, только за период 1959–1965 гг. в нашей стране вступили в строй 5500 крупных предприятий [2]. Для промышленных объектов этого периода уже характерны значительные изменения, как в технологической организации производства, так и в самой структуре промышленных зданий и сооружений, в усовершенствовании их объемно-планировочных и конструктивных решений. В результате массового применения унифицированных типов секций и пролетов, перехода на строительство промышленных комплексов, стал характерен повсеместный перевод промышленных зданий на полносборное возведение из элементов

заводского изготовления. Индустриальное строительство из сборных железобетонных и металлических конструкций во многом стало основой современной промышленной архитектуры [2].

Наряду с этим, совершенствовались градостроительные приемы размещения предприятий в больших и средних городах России. Вместо отдельных исторически сохранившихся предприятий, разбросанных по городу, стали создаваться крупные промышленные зоны, которые исторически стали важными градостроительными объектами, вокруг которых развивалась необходимая селитебная застройка. В существующей практике, например, на территории Москвы, такие промышленные зоны со временем оказались в границах центральных частей городской территории [3].

С развитием технологий и повышении экологических требований структура старой производственной застройки промзон перестала соответствовать новым требованиям, связанным с модернизацией технологий, с новой организацией транспортных коммуникаций, обеспечением комфортных условий труда [4]. По этим причинам прежние городские предприятия и производственные комплексы в структуре сформировавшихся промзон, ввиду нерациональности их дальнейшего использования, стали постепенно выводиться из эксплуатации. Только на территории Москвы в настоящее время насчитывается более 19 полностью завершённых реорганизованных промзон [5], при этом более 28 промзон находятся в процессе реновации [6].

Практика показывает, что в современных крупных и средних городах во вновь развивающихся городских центрах стали преобладать новые функции: административные, деловые, общественные, культурно-досуговые. С новым развитием городской среды прежние исторически сохранившиеся производственные здания во многих случаях оказываются более невостребованными и частично заброшенными. Они, как правило, негативно отражаются на внешнем облике города, а в ряде случаев, неэффективно сдаются в аренду. В результате в существующей практике была вполне обоснована тенденция в частичном сохранении таких неэффективно используемых объектов с проведением поисков и исследований в направлениях их реновации, с целью нового функционального использования бывших

промышленных зданий и нового функционального наполнения городской среды.

Термин «реновация» (от латинского *renovatio* – «обновление») появился не так давно и в целом определяется, как «процесс улучшения, реконструкции и реставрации без разрушения целостности структуры». В промышленном строительстве – это обоснованный технико-экономический процесс замещения выбывающих из производства, вследствие физического и морального износа, машин, оборудования, инструмента, а также неразрывно связанный с ним процесс комплексной реконструкции промышленных объектов [7].

На сегодняшний день существует немало примеров осуществления реновации бывших производственных объектов в нашей стране и за рубежом. Кроме того, как показывает опыт, в крупных и средних городах России сохранившиеся бывшие промышленные объекты, как было указано в статье, относятся к разным периодам строительства, что в настоящее время обуславливает разный методический подход к их реновации. Например, многие сохранившиеся исторические производственные здания ранней постройки XIX – начала XX века, по своим архитектурным качествам имеют статус памятников архитектуры и охраняются государством. Например, с этой целью 25 июля 2002 года Президентом Российской Федерации был утверждён Федеральный закон «Об объектах культурного наследия (памятниках истории и культуры) народов Российской Федерации» [8]. В соответствии с этим Законом, реновация или реконструкция таких объектов проводится только при условии сохранения их первоначального архитектурного образа, с возможностью внесения последующих изменений, не портящих их основных архитектурных качеств.

Представляют интерес примеры практического осуществления реновации бывших промышленных зданий и сооружений разных эпох строительства, с внесением в них новых функций в области социального, культурно-досугового и жилого назначения. Например, характерными примерами нового функционального использования старинных городских промышленных объектов являются:

- культурно-деловой комплекс («Даниловская мануфактура» – бывшая текстильная мануфактура, Москва);
- офисный центр («Голутвинская мануфактура» – бывшее текстильное предприятие, г. Москва);

- многофункциональный комплекс («Газометр Сити» – бывшие сооружения газгольдеров, г. Вена, Австрия);
- центр современного искусства (бывшая городская электростанция ГЭС-2, г. Москва);
- лофт пространство (проект «Этажи» – бывший хлебозавод, г. Санкт-Петербург);
- торгово-развлекательный центр «Мануфактура» (бывшее текстильное предприятие, г. Лодзь, Польша).

Примерами реновации городских промышленных объектов более поздних периодов строительства – второй половины XX века, являются:

- музей и гостиница (бывшая трикотажная фабрика «Красное знамя», г. Санкт-Петербург);
- банковское здание (бывший завод «Электроприбор», г. Гродно, Белоруссия);
- торговый центр (бывший промышленный корпус завода «Химволокно», г. Гродно, Белоруссия) [9] и другие.

Актуальными направлениями по сохранению и реновации памятников архитектуры является адаптация бывших неэксплуатируемых

промышленных зданий к современным градостроительным и экономическим требованиям. В основе этого процесса рассматривается решение проблемы реновации в интересах жителей города и развития городской экономики, что предусматривает комфортную городскую среду, общественно значимые городские пространства, новые транспортно-пешеходные связи и коммуникативные площадки, удовлетворяющие потребностям города. Такое направление актуально как для исторических объектов, так и для современных объектов советского периода строительства. В целом ряде других целевых направлений, связанных, например, с туризмом, музеефикацией, культурно-досуговой деятельностью, как правило, целесообразно исключительное сохранение первоначального исторического образа объекта при этом вторичное внутреннее наполнение его адаптируется уже под новую функцию.

На основе проведенного анализа выявлены наиболее перспективные направления реновации сохранившихся во многих городах неэксплуатируемых промышленных зданий разных типов и периодов строительства (рис.).

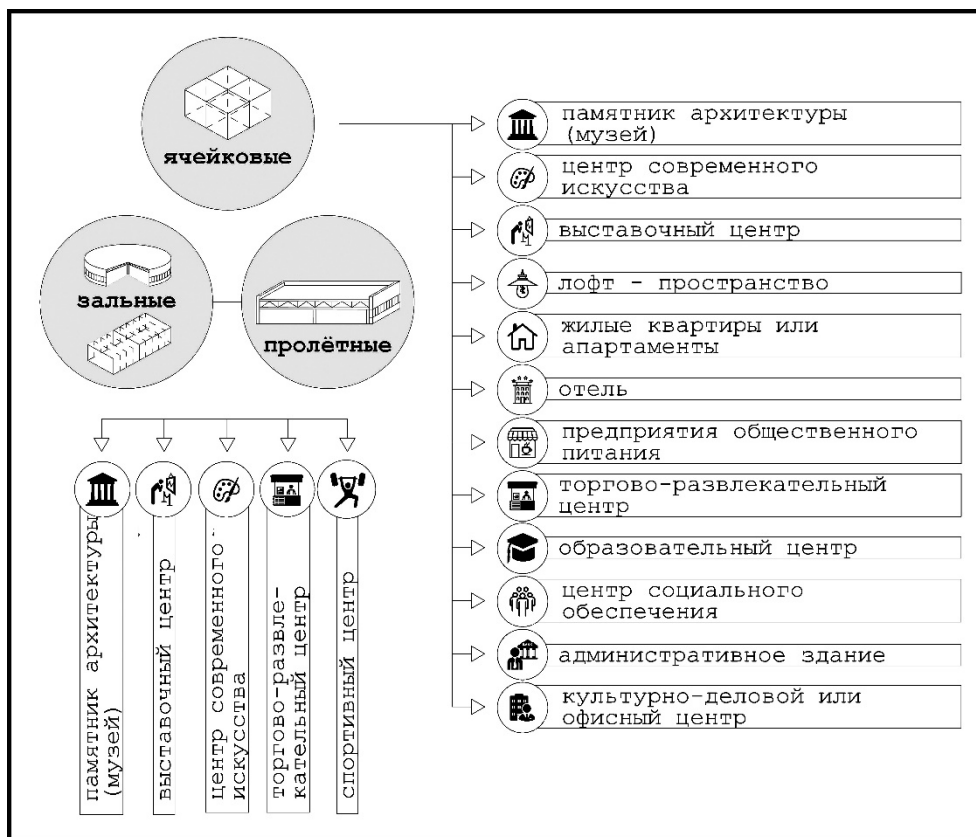


Рис. Варианты возможных направлений реновации сохранившихся промышленных зданий разных типов и периодов строительства

Таким образом, современная практика показывает актуальность исследований в области проведения реновации, как для исторических сохранившихся объектов на территории городов, так и, в ряде случаев, объектов современного периода строительства, по технико-экономическим соображениям выведенных из эксплуатации. По мнению авторов, в обоих случаях для этого требуется проведение дальнейших исследований, поиски правильного научно обоснованного методического подхода, учитывающего состав таких исходных факторов, как: типологические особенности зданий, комплексный анализ историко-архитектурной ценности, физическая сохранность строения, градостроительные и функционально-конструктивные решения, экономическая и социально-культурная целесообразность комплекса намечаемых мероприятий. Эти вопросы объединяют направления работы многих исследователей, занимающихся проблемами реновации сохранившихся производственных объектов в структуре развивающихся современных больших и малых городов.

#### Литература

1. Снитко А.В. Возможности реконструкции исторических промышленных предприятий, как общественно-производственных комплексов // Промышленное и гражданское строительство. – М.: ООО «Издательство ПГС», 2008. – С. 30-31.
2. Ковалев, А.Я. Всеобщая история архитектуры. Том 12. Книга первая. Архитектура СССР / Н.В. Баранова, А.Я. Ковалев. – Москва: Изд-во Стройиздат, 1975. – 755 с.
3. Ставцев, Е.А. Причины реновации промышленных территорий и значение этого процесса в формировании современного городского пространства // Сборник научных трудов по материалам всероссийской научно-практической конференции. – Орёл: Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева, 2018. – С. 62-64.
4. Чайко, Д.С. Индустриальное наследие России. Проблемы и перспективы // Труды МАРХИ: материалы международной научно-практической конференции. – Москва: Московский архитектурный институт (государственная академия), 2015. – С. 576-577.
5. Новая жизнь заводов и фабрик – Мослента: сайт. – 2016. – URL: <https://moslenta.ru/articles/promzony.htm> (дата обращения 28.09.2023).
6. Редевелопмент промзон – Комплекс градостроительной политики и строительства города Москвы: сайт. – 2023. – URL: <https://stroi.mos.ru/renovaciya-promzon> (дата обращения 28.09.2023).
7. Бондаренко И.А. Реновация городской среды: исторические прецеденты // Возвышаева Т.И., Грязнова Н.В., Дуцев М.В. [и др.]. – Москва-Санкт-Петербург: archi.ru/Коло, 2021. – 333 с.
8. Федеральный закон. Об объектах культурного наследия (памятниках истории и культуры) народов Российской Федерации: сайт. – 2002. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/901820936> (дата обращения 14.09.2023).
9. Сысоева, О.И. Реконструкция промышленных объектов: учебное пособие для вузов // О.И. Сысоева. – Минск; БНТУ, 2005. – 135 с.

**BARANOVA Natalia Vyacheslavovna**

Undergraduate student,  
National Research Moscow State University of Civil Engineering,  
Russia, Moscow


*Scientific Advisor – Associate Professor of the Department of Architecture  
of the National Research Moscow State University of Civil Engineering  
Finogenov Alexander Ivanovich*

## **ACTUAL PROBLEMS OF RENOVATION OF UNUSED INDUSTRIAL BUILDINGS IN A MODERN CITY**

**Abstract.** *The article analyzes the current problems of renovation of former unused industrial buildings and their adaptation to the structure of a modern city. In some cases, the former historically preserved industrial buildings in the structure of the urban area turn out to be abandoned, while they occupy significant territories and negatively affect the appearance of the urban environment. As a result, this phenomenon causes the need for renovation and the search for variable solutions for the reuse of former industrial buildings and their territories. In this article, the problem is considered on the example of domestic and foreign practice, as well as the analysis of scientific literature. Promising areas of new functional purpose of industrial buildings and their territories in the process of renovation have been identified and analyzed. Recommendations are given on improving the methodological techniques for the renovation of industrial buildings at different stages of construction with a well-founded comprehensive analysis.*

**Keywords:** *renovation, type, period, former preserved unused industrial buildings, renovation directions, architectural monument, urban environment.*

# ЭКОЛОГИЯ, ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕ

 10.5281/zenodo.10866305

**ТЕРЛЕЦКАЯ Анастасия Игоревна**

ученица, Университетская школа Дальневосточного федерального университета,  
Россия, г. Владивосток

## ЭКОЛОГИЯ ПРИМОРСКОГО КРАЯ

**Аннотация.** Статья об экологии Приморского края выявляет серьезные проблемы, с которыми сталкиваются современные города и природные экосистемы в этом регионе. Описывается загрязнение атмосферы угольной пылью, загрязнение воды мусором и нефтепродуктами, а также негативные последствия незаконной вырубке леса. Поддержка инициатив по очистке и восстановлению окружающей среды требуется для предотвращения дальнейшего ущерба для здоровья людей и животных, а также сохранения биоразнообразия данного региона.

**Ключевые слова:** экология, Приморский край, загрязнение атмосферы, вырубка лесов, мусор, загрязнение воды.

Приморский край представляет собой уникальный регион на востоке России, известный своей захватывающей природой и богатым биоразнообразием. Здесь обитают множество видов животных, включая тигра, символ силы и красоты. Жители Приморского края ежегодно отмечают День тигра, чтобы привлечь внимание к охране этого важного хищника.

Кроме того, Приморский край известен своими портами, парками, заповедниками и пляжами, которые привлекают множество туристов. Например, город Владивосток, главный порт Дальнего Востока, находится на той же широте, что и Ницца во Франции, что вносит разнообразие в климат и погодные условия региона. Эти факты указывают на то, что Приморский край является уникальным и живописным уголком России, который заслуживает внимания и исследований.

Как и везде, где появляется человек, экосистема Приморского края подвергается разрушению. И хотя предпринимаются усилия для борьбы с этим процессом, эффективность их пока оставляет желать лучшего. Существует

ряд основных экологических проблем в регионе.

Первая проблема касается мусора. Практика нелегального выброса отходов на территории Приморского края стала серьезной угрозой для окружающей среды. Несмотря на отсутствие системы разделения отходов, которая успешно работает в Японии и Китае, местные жители продолжают выбрасывать мусор в непредназначенных для этого местах. Недостаток мусороперерабатывающих заводов в регионе также усугубляет эту проблему.

Загрязнение атмосферы является значительной проблемой в современных крупных городах, таких как Находка. Особенно остро эта проблема проявляется из-за перевалочной базы угля, где уголь открыто размещается на поверхности, что приводит к возникновению угольной пыли в воздухе. Жители Находки жалуются на головные боли, тяжесть дыхания и неврологические проблемы, обусловленные токсичными воздействиями угольной пыли. Уголь содержит ртуть, которая является опасным загрязнителем для человеческой нервной системы.



Исследования по химическому составу атмосферных осадков в 2009 году были проведены на пяти метеостанциях Приморского УГМС: Садгород, Терней, Тимирязевский, Партизанск, Халкидон. Изучение кислотности отдельных образцов атмосферных осадков проводилось на шести других метеостанциях края. В период наибольшего снегопада снег был исследован на 19 метеостанциях края.

Всего было собрано 253 образца атмосферных осадков в течение 2009 года. Измерялись кислотность осадков (рН) и электропроводность, а также содержание сульфатов, нитратов, хлоридов, гидрокарбонатов, ионов калия, натрия, цинка, магния, кальция и аммония.

За весь 2009 год не было обнаружено опасных кислых осадков. Однако кислые осадки были зафиксированы на всех станциях края в течение года, за исключением февраля и марта.

Программа EANET (программа кислотных выпадений в Восточной Азии), в которой участвуют 13 стран АТР, включает в себя работу четырех станций на территории России, в том числе одной в Приморском крае.

В результате выделения метана уголь может служить источником самовозгорания и взрывов, что создает дополнительные опасности для жителей города. Таким образом, Находка становится своеобразной «пороховой бочкой», где экологические проблемы могут иметь серьезные последствия для здоровья населения и окружающей среды.

Загрязнение воды является серьезной проблемой для природы, вызванной человеческой деятельностью. Мусор, выбрасываемый на берегах морей и океанов, представляет угрозу для морской жизни, включая тюленей и ларг. Кроме того, затопленные суда и разливы мазута и нефтепродуктов вносят свой вклад в загрязнение воды.

В 2009 году в Приморском крае было сброшено 400,66 миллионов кубометров сточных вод в поверхностные водные объекты. Из этого объема 286,09 миллиона кубометров были сброшены без предварительной очистки, а 53,57 миллиона кубометров были недостаточно очищены.

Объем водоотведения в водные объекты увеличился на 22,06 миллиона кубометров в год по сравнению с 2008 годом. Тем не менее количество сбрасываемых без очистки сточных вод сократилось на 0,69 миллионов кубометров.

Основными источниками загрязнения воды были сточные воды от предприятий коммунального хозяйства, угольной промышленности, цветной металлургии, транспорта, а также поверхностный сток с загрязненных территорий водоотбора. Качество поверхностных вод оценивалось с использованием различных комплексных индексов и показателей, таких как ПДК (предельно-допустимая концентрация), УКИЗВ (удельный комбинаторный индекс загрязненности воды) и другие.

Животные сталкиваются с негативными последствиями загрязнения воды, поскольку они вынуждены пить морскую воду, содержащую микрочастицы мусора и пластика. Этот пластик может вызывать мутации в животных, что приводит к снижению их популяций из-за невозможности нормального размножения.

Необходимо принять меры для очистки акватории Приморского края и устранения загрязнения воды, чтобы предотвратить дальнейшие негативные последствия для морской жизни.

Незаконная вырубка леса в Приморском крае причиняет серьезный вред окружающей среде. Большая часть вырубаемых деревьев является жизненно важным укрытием и источником пищи для многих видов животных, что приводит к нарушению экосистемы. Например, вырубка эвкалипта в Китае и Японии привела к обострению проблемы сохранения панд, так как эти животные питаются и живут на эвкалиптах.

Кроме того, вырубка дальневосточной липы может привести к угрозе вымирания пчел. Пчелы играют важную роль в опылении растений и обеспечивают необходимое разнообразие в окружающей среде. Без пчел процесс опыления растений будет нарушен, что приведет к значительному снижению урожайности и разнообразия растений.

Как сказал Эйнштейн, «если умрут пчелы, умрет человек». Это подчеркивает важность роли, которую играют пчелы в сохранении биоразнообразия и поддержании экологической устойчивости. Необходимо принимать меры по защите лесов и предотвращению незаконной вырубки, чтобы сохранить природные экосистемы и обеспечить устойчивое развитие нашей планеты.

В целом, проблемы экологии Приморского края требуют серьезного внимания и комплексных мер для их решения. Однако, необходимо также обратить внимание на то, что вину

за данное положение несут не только обычные граждане, которым часто не предоставляются возможности для правильной утилизации отходов, но и власти, отвечающие за развитие инфраструктуры обращения с отходами в регионе.

В настоящее время приоритетные задачи государства включают в себя вопросы улучшения экологической ситуации, устойчивого развития и сокращения потребления природных ресурсов на единицу валового продукта, а также повышения энергоэффективности экономики. Без бережного отношения к окружающей среде невозможно достичь увеличения продолжительности жизни, улучшения демографической ситуации, снижения смертности и заболеваемости населения.

Важно найти баланс между экономическим ростом, социальным развитием и охраной окружающей среды. Региональные экологические проблемы часто обусловлены природными условиями, ресурсами и их использованием. В Приморском крае уделено особое внимание сохранению природы и улучшению экологической обстановки, учитывая его уникальные природные ресурсы.

Приморье является одним из самых богатых по природным ресурсам и биологическому разнообразию регионов России. Особое значение представляют собой охраняемые природные территории на юге Приморья, которые имеют мировое значение. Необходимо

предпринимать меры для сохранения этого природного богатства и предотвращения экологических катастроф на местном и международном уровне.

В последние годы экологические проблемы стали особенно актуальными в Приморском крае из-за быстрого экономического развития региона и соседних стран Азиатско-Тихоокеанского региона. Решение этих проблем усложняется необходимостью справляться как с текущими экологическими вызовами, так и с теми, которые будут появляться в будущем.

### Литература

1. Бакланов, П.Я. География Приморского края / П.Я. Бакланов, Ю.Б. Зонов, М.Т. Романов, В.Д. Царева, А.Н. Качур. – Владивосток: Уссури, 1997. – 187 с.
2. Безуглая, Э.Ю. Воздух городов и его изменения / Э.Ю. Безуглая, И.В. Смирнова. – СПб.: Астерион, 2008. – 254 с.
3. Берснев, И.И. Геология СССР. Том XXXII. Приморский край. Полезные ископаемые / И.И. Берснев. – Москва: Мир, 2012. – 156 с.
4. Коломейцева, О.Л. Сравнительная оценка загрязнения атмосферного воздуха двух промышленных городов Приморского края – Уссурийска и Спасска-Дальнего / О.Л. Коломейцева, Н.К. Христофорова // Вестник РУДН. Серия «Экология и безопасность жизнедеятельности». – 2012. – № 3. – С. 77-84.

**TERLETSKAYA Anastasia Igorevna**

student, University School of the Far Eastern Federal University,  
Russia, Vladivostok

## ECOLOGY OF THE PRIMORSKY KRAI

**Abstract.** *The article on the ecology of the Primorsky Krai reveals the serious problems faced by modern cities and natural ecosystems in this region. It describes the pollution of the atmosphere with coal dust, water pollution with garbage and petroleum products, as well as the negative consequences of illegal logging. Support for environmental clean-up and restoration initiatives is required to prevent further damage to human and animal health, as well as to preserve the biodiversity of the region.*

**Keywords:** *ecology, Primorsky Krai, atmospheric pollution, deforestation, garbage, water pollution.*

# МЕДИЦИНА, ФАРМАЦИЯ

ЗУБАДЫЛДА Айсулу Сержанкызы

магистрантка,

Казахский национальный медицинский университет имени С. Д. Асфендиярова,  
Казахстан, г. Алматы

Научный руководитель – доцент кафедры фармацевтической технологии  
Казахского национального медицинского университета имени С. Д. Асфендиярова  
Омырзаков Манас Токтасынович

## ИЗУЧЕНИЕ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ГУСТОГО ЭКСТРАКТА ЗВЕЗДЧАТКИ СРЕДНЕЙ (STELLARIA MEDIA L.)

**Аннотация.** В данной статье рассматриваются данные получения спиртового густого экстракта методом ультразвуковой экстракции и определения органических соединений экстракта из растения *Stellaria media* L. Определены 41 органических соединений в экстракте растения звездчатки средней (*Stellaria media* L.). В данном экстракте выделено большое количество терпеноидов и жирных кислот. Главным из которых является октакозан, октакозанол, гексадеcanoиновая кислота, 9,12-октадекадиеновая кислота (Z,Z). Растение сыграло важную роль в обнаружении лекарственных средств как в традиционной, так и в современной медицине. Тем не менее, полная информация о фитохимической активности экстрактов и выделенных соединений отсутствует. Поэтому данное обзорное исследование направлено на изучение фитохимического профиля звездчатки средней (*Stellaria media* L.). С целью выявления компонентного состава экстрактов из *S. media* L. впервые использован метод газовой хроматографии с масс-спектрометрическим детектированием (ГХ-МС). Результаты исследований показывают, что данные экстракты *S. media* L. являются перспективными источниками для получения жирных кислот и фенольных соединений.

**Ключевые слова:** звездчатка средняя (*Stellaria media* L.), органические соединения, газовая хроматография с масс-спектрометрическим детектированием, ультразвуковая экстракция.

### Введение

Результаты многочисленных исследований отечественных и зарубежных ученых подтверждают лечебные свойства лекарственных растений, включая их в арсенал средств, используемых в современной медицинской практике. Несмотря на наличие синтетических препаратов, интерес к лекарственным растениям сохраняется.

Благодаря мягкости действия растительных препаратов и отсутствию токсичных проявлений при их использовании, можно предполагать их важную роль в профилактике различных заболеваний. Еще одним неоспоримым преимуществом лекарственного растительного сырья является разнообразие биологически активных веществ, способных обеспечить

разнонаправленные фармакологические эффекты [1, с. 372-375].

Ультразвуковой способ экстрагирования позволяет значительно сократить длительность процесса и обеспечить более полное извлечение веществ. При воздействии ультразвуковых волн нарушается пограничный диффузионный слой, улучшается проникновение экстрагента в материал. В результате сырьё набухает гораздо быстрее, возникают турбулентные и вихревые потоки, способствующие переносу масс, растворению веществ. Всё это приводит к значительному ускорению процесса перехода действующих веществ из сырья в экстрагент [2, с. 11-19].

**Цель исследования** – исследование фитохимического состава экстракта звездчатки

средней (*Stellaria media* L.).

#### Материалы и методы исследования

Материалом исследования является лекарственное растительное сырье звездчатка средняя (*Stellaria media* L.).

Образцы анализировали методом газовой хроматографии с масс-спектрометрическим детектированием (7890А/5975С).

Условия анализа: объем образца 0,5 мкл, температура ввода пробы 250 °С, без деления потока. Разделение проводили с помощью хроматографической капиллярной колонки DB-WaxExt длиной 30 м, внутренним диаметром 0,25 мм и толщиной пленки 0,25 мкм при постоянной скорости газа-носителя (гелий) 1 мл/мин. Температуру хроматографирования программируют от 40 °С со скоростью нагрева 5 °С/мин до 280 °С (выдержка 5 мин). Время анализа 53 минуты. Детектирование проводилось в режиме SCAN m/z 34-750. Для управления системой газовой хроматографии, регистрации и обработки полученных результатов и данных использовали программное обеспечение Agilent MSD ChemStation (версия 1701EA). Обработка данных включала в себя определение времен удерживания, площадей пиков, а также обработку, спектральной информации, полученной с помощью масс-спектрометрического детектора. Для расшифровки полученных масс-спектров использовали

библиотеки Wiley 7th edition и NIST'02 (общее количество спектров в библиотеках – более 550 тыс.).

#### Результаты

Экспериментально были подобраны следующие условия извлечения из звездчатки средней (*Stellaria media* L.): 200 г измельченного сырья помещают в колбу, прибавляют 2000 мл 70% спирта и ставят в ультразвуковую установку в течение 1 часа (3 раза). Ультразвуковую экстракцию проводили с помощью ультразвуковой установки KQ5200В при напряжении 40КHz.

Полученный раствор фильтруют через бумажный фильтр и сушат на роторном испарителе марки EYELA N-1300 при температуре 45°С. В результате выделилось 12,00 г густого экстракта звездчатки средней (*Stellaria media* L.).

Определились 41 органическое соединение в экстракте растения звездчатки средней (*Stellaria media* L.). В данном экстракте выделилось большое количество терпеноидов и жирных кислот. Главным из которых является октакозан, октакозанол, гексадеcanoиновая кислота, 9,12-октадекадиеновая кислота (Z,Z).

Результаты ГХ-МС-анализа экстракта звездчатки средней (*Stellaria media* L.), выделенного методом ультразвуковой экстракции, приведены в таблица.

Таблица

Состав экстракта звездчатки средней (*Stellaria media* L.)

№	Время удерживания, мин	Соединения	Молекулярная формула	Молекулярная масса, г/моль	Pubchem compound	Вероятность идентификации, %	Процентное содержание, %
1	10,26	Бицикло [2,2,1] гептан-2-он, 1,7,7-триметил-, (1S)	C <sub>17</sub> H <sub>21</sub> N <sub>3</sub> S	299.4	2537	90	1,04
2	12,81	гидропероксид трет-бутила	(CH <sub>3</sub> ) <sub>3</sub> CO ОН	90.122	6410	73	0,59
3	12,90	Гексаналь, 2,2-диметил	C <sub>8</sub> H <sub>16</sub> O	128.21	523230	69	0,55
4	13,38	Циклогексанон, 5-метил-2-(1-метилэтилиден)	C <sub>10</sub> H <sub>17</sub> NO	167.25	25273058	76	0,39
5	13,45	Гексадекан	C <sub>16</sub> H <sub>34</sub>	226.44	11006	84	0,52
6	15,64	Гептадекан	C <sub>17</sub> H <sub>36</sub>	240.5	12398	82	0,27
7	16,48	Этанол, 2-(2-бутоксиэтокси)	C <sub>8</sub> H <sub>18</sub> O <sub>3</sub>	162.23	8177	81	0,54
8	17,16	3-Пентеновая кислота, 4-метил	C <sub>7</sub> H <sub>12</sub> O <sub>2</sub>	128.17	549735	72	0,37

№	Время удерживания, мин	Соединения	Молекулярная формула	Молекулярная масса, г/моль	Pubchem compound	Вероятность идентификации, %	Процентное содержание, %
9	17,75	Октадекан	C <sub>18</sub> H <sub>38</sub>	254.5	11635	88	0,42
10	19,77	Нонадекан	C <sub>19</sub> H <sub>40</sub>	268.5	12401	83	0,33
11	20,11	3,7,11,15-Tetramethyl-2-hexadecen-1-ol	C <sub>20</sub> H <sub>40</sub> O	296.5	5366244	86	0,72
12	21,71	Эйкозан	C <sub>20</sub> H <sub>42</sub>	282.5	8222	82	0,42
13	23,59	2-Пентадеканон, 6,10,14-триметил	C <sub>18</sub> H <sub>36</sub> O	268.5	10408	92	4,03
14	25,38	Докозан	C <sub>22</sub> H <sub>46</sub>	310.6	12405	82	0,64
15	25,70	Пропил-14-метил-пентадеканонат	C <sub>19</sub> H <sub>38</sub> O <sub>2</sub>	298.5	53745103	79	0,23
16	25,83	Гексадекановая кислота, этиловый эфир	C <sub>18</sub> H <sub>36</sub> O <sub>2</sub>	284.5	12366	91	2,47
17	26,37	Фенол, 2,4-бис(1,1-диметилэтил)	C <sub>14</sub> H <sub>22</sub> O	206.32	7311	70	0,41
18	26,58	2(4H)-Бензофуранион, 5,6,7,7a-тетрагидро-4,4,7a-триметил-, (R)	C <sub>11</sub> H <sub>16</sub> O <sub>2</sub>	180.24	6432173	75	0,51
19	27,11	Хенейкозан	C <sub>21</sub> H <sub>44</sub>	296.6	12403	86	0,88
20	27,79	1-Гексадеканол	C <sub>16</sub> H <sub>34</sub> O	242.44	2682	87	0,38
21	29,29	Октадекановая кислота, этиловый эфир	C <sub>20</sub> H <sub>40</sub> O <sub>2</sub>	312.5	8122	79	0,52
22	29,48	Этил Олеат	C <sub>20</sub> H <sub>38</sub> O <sub>2</sub>	310.5	5363269	80	0,48
23	30,16	9,12-Октадекадиеновая кислота, этиловый эфир	C <sub>20</sub> H <sub>36</sub> O <sub>2</sub>	308.5	5365672	90	2,12
24	31,56	Фитол	C <sub>20</sub> H <sub>40</sub> O	296.5	5280435	93	2,49
25	32,39	Дибутилфталат	C <sub>16</sub> H <sub>22</sub> O <sub>4</sub>	278.34	3026	92	0,46
26	32,53	Тетрадеканонная кислота	C <sub>14</sub> H <sub>28</sub> O <sub>2</sub>	228.37	11005	77	0,85
27	32,66	Гексанолевая кислота, 2-этил, гексадециловый эфир	C <sub>24</sub> H <sub>48</sub> O <sub>2</sub>	368.6	42956	68	0,30
28	35,60	Гексадеканонная кислота	C <sub>16</sub> H <sub>32</sub> O <sub>2</sub>	256.42	985	94	14,58
29	36,61	Гептакозан	C <sub>27</sub> H <sub>56</sub>	380.7	11636	70	0,44
30	36,96	Сквален	C <sub>30</sub> H <sub>50</sub>	410.7	638072	80	2,38
31	38,80	Олеиновая кислота	C <sub>18</sub> H <sub>34</sub> O <sub>2</sub>	282.5	445639	77	1,14

№	Время удерживания, мин	Соединения	Молекулярная формула	Молекулярная масса, г/моль	Pubchem compound	Вероятность идентификации, %	Процентное содержание, %
32	39,08	Октакозан	C <sub>28</sub> H <sub>58</sub>	394.8	12408	91	21,33
33	39,45	9,12-Октадекадиеновая кислота (Z,Z)	C <sub>18</sub> H <sub>32</sub> O <sub>2</sub>	280.4	5280450	88	7,21
34	40,32	9,12,15-октадекатриеновая кислота, (Z,Z,Z)	C <sub>18</sub> H <sub>30</sub> O <sub>2</sub>	278.4	5280934	80	3,96
35	40,93	2-Гептакозанон	C <sub>27</sub> H <sub>54</sub> O	394.7	547857	79	1,41
36	41,57	Тетратетраконтан	C <sub>44</sub> H <sub>90</sub>	619.2	23494	90	2,60
37	42,56	9-Октадеценамид, (Z)-	C <sub>18</sub> H <sub>35</sub> NO	281.5	5283387	76	0,83
38	43,49	2-Нонакозанон	C <sub>29</sub> H <sub>58</sub> O	422.8	547858	64	0,95
39	44,97	Октакозанол	C <sub>28</sub> H <sub>58</sub> O	410.8	68406	94	16,75
40	46,34	Эруковая кислота	C <sub>22</sub> H <sub>42</sub> O <sub>2</sub>	338.6	5281116	73	1,49
41	48,38	Фитол, ацетат	C <sub>22</sub> H <sub>42</sub> O <sub>2</sub>	338.6	6428538	76	2,00

С использованием газовой-жидкостной хроматографии масс-спектрометрии (ГХ-МС) была проведена аналитика экстракта звездчатки средней (*Stellaria media* L.), извлеченного при

помощи ультразвуковой экстракции. Полученные результаты представлены на хроматограмме (рис.).

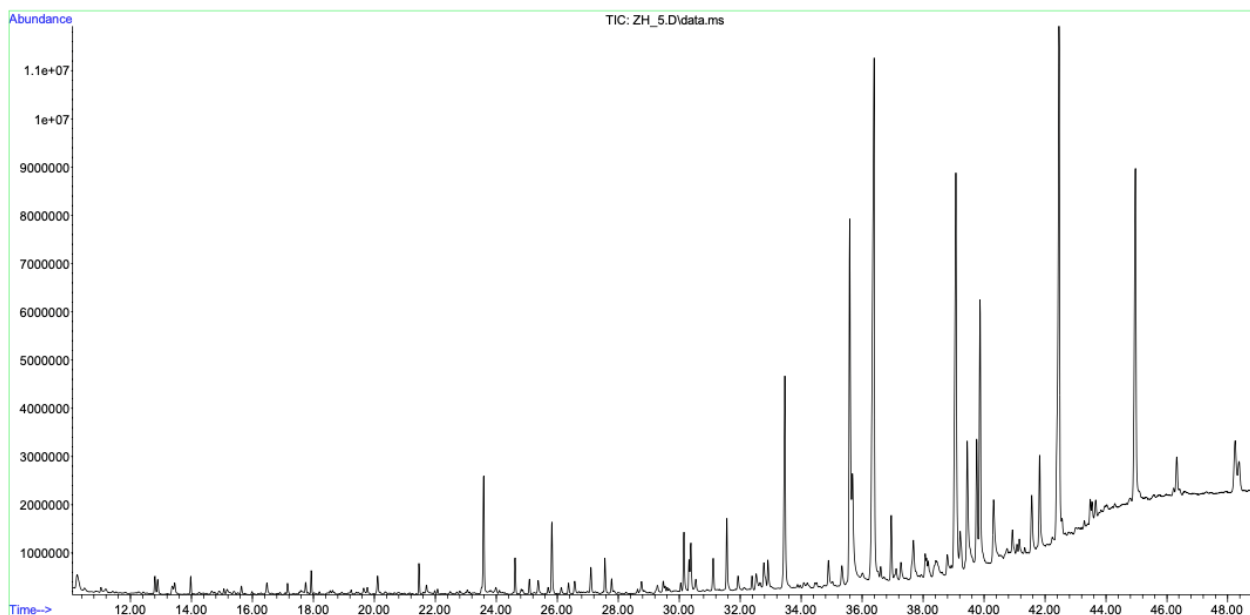


Рис. Хроматограмма экстракта

### Обсуждение

В результате исследования состава соединений, выделившихся из экстракта звездчатки средней (*Stellaria media* L.) в космецевтике и медицине, были получены следующие данные.

Бицикло (2.2.1) гептан-2-он, 1, 7, 7-триметил-, (1S, 4S) – иначе известный как камфора -

используется в некоторых препаратах от кашля как подавляющее и местное обезболивающее средство. Камфора также широко используется наружно для облегчения артритных и ревматических болей, невралгии и болей в спине. Камфору можно принимать внутрь в небольших количествах (50 мг) при незначительных

сердечных симптомах и усталости.

Гексадекан, нонадекан и гептадекан используются как ароматизаторы в космецевтике [4, 5, 6].

Октадекан кондиционирует кожные барьеры [7]. Фитол и его производные как 3,7,11,15-Тетраметил-2-гексадецен-1-ол являются антиоксидантами [8]. Крылова, Предшественники алканов как эйкозан используются как противоопухолевое средство [9], докозан ароматизатор [10, с. 57-67], геникозан антибактериальное средство [11]. Известно, что октакозан обладает противомикробным, антиоксидантным и противовоспалительным действием [12].

В качестве жирных кислот обнаружены в экстракте 2-Пентадеканон, 6,10,14-триметил- и гексадекановая кислота, который оказывает антибактериальную активность [13; 14, с. 143-152], *i*-Пропил-14-метил-пентадеканоат также обладал антиоксидантными, антиандрогенными, антипролиферативными свойствами [15, с. 557-568].

В экстракте так же были обнаружены соединения используемые в космецевтике. Гексадеканол используется в косметологии как загуститель и эмульгатор [16]. Октадекановая кислота, этиловый эфир косметический ингредиент, используемый в качестве смягчающего средства при уходе за кожей [17].

Этил олеат используется в качестве растворителя для фармацевтических препаратов, содержащих липофильные вещества, такие как стероиды [18].

9,12-Октадекадиеновая кислота, этиловый эфир так же эффективен в борьбе с кожными заболеваниями [19, с. 207-221]. Фталаты также используются в качестве ароматизаторов во многих других косметических средствах [20].

Гексадекановая кислота обладает антиоксидантными свойствами [21].

Сквален – натуральный тритерпен, широко распространенный в природе. Он является метаболическим средством. В настоящее время экспериментальные результаты в целом свидетельствуют о роли сквалена в сердечно-сосудистой системе [22, с. 3867-3872]. 9,12-Октадекадиеновая кислота (*Z,Z*) при местном применении помогает лечить расстройства кожи, связанные с ее дефицитом [23, с. 688].

9,12,15-октадекатриеновая кислота, (*Z,Z,Z*) также известная как линоленовая кислота, обладает рядом биологических свойств [24]. Тетраконтан обладает антиоксидантной и цитопротекторной активностью [25].

Октакозанол, соединение природного происхождения находит применение на различных рынках. Во-первых, он широко используется в качестве пищевой добавки благодаря своим потенциальным преимуществам для улучшения спортивных результатов, выносливости и мышечной силы. Во-вторых, он часто используется в медицине благодаря своему потенциальному положительному влиянию на уровень холестерина, здоровье сердца и когнитивные функции. Наконец, октакозанол находит применение в косметической промышленности в качестве ингредиента средств по уходу за кожей, в первую очередь благодаря своим потенциальным увлажняющим и противовоспалительным свойствам [26].

### Заключение

Полученные данные могут быть применены для формирования хроматографической базы данных, направленной на идентификацию, стандартизацию и подтверждение подлинности сухих растительных материалов звездчатки средней (*Stellaria media L.*), а также для фитопрепаратов, созданных на их основе. Результаты исследований показывают, что данные экстракты *S. media L.* являются перспективными источниками для получения жирных кислот и фенольных соединений.

### Литература

1. Лезина А.В., Тернинко И.И. Исследование гексановой фракции водно-спиртового экстракта корневищ и корней *rhodiola quadrifida* // Достижения и перспективы создания новых лекарственных растительных препаратов. – 2023. – С. 372-375.
2. Дьякова Н.А., Костылева А.А. Ультразвуковая экстракция: применение и перспективы в технологии фитопрепаратов (обзор) // Традиционная медицина. – 2022. – №. 1. – С. 11-19.
3. Eshiet E.R. et al. Chemical characterization of *B rickellia cavanillesii* (A steraceae) using gas chromatographic methods // Food Science & Nutrition. – 2014. – Т. 2. – №. 2. – С. 105-113.
4. URL: <https://cosmetics.specialchem.com/inci-ingredients/hexadecane> (дата обращения: 26.02.2024).
5. URL: <https://cosmileeurope.eu/inci/detail/26522/n-heptadecane/> (дата обращения: 26.02.2024).
6. URL: <https://prospecte.ro/en/ingredient/nonadecane>

(дата обращения: 25.02.2024).

7. URL:

<https://cosmetics.specialchem.com/ingredients/octadecane> (дата обращения: 28.02.2024).

8. Курашов Е.А. Компонентный Состав низкомолекулярного метаболома и антиоксидантная активность *potamogeton perfoliatus* L. (*potamogetonaceae*), произрастающего в Астраханской области // Химия растительного сырья. 2022. № 4.

9. URL:

<https://cyberleninka.ru/article/n/komponentnyy-sostav-nizkomolekulyarnogo-metaboloma-i-antioksidantnaya-aktivnost-potamogeton-perfoliatus-l-potamogetonaceae> (дата обращения: 02.03.2024).

10. Kaplan A., Çelikoğlu U. Evaluation of phytochemical constituents in the whole plant parts of hexane extract of some traditional medicinal plants by GC-MS analysis // Middle East Journal of Science. – 2020. – Т. 6. – №. 2. – С. 57-67.

11. URL:

<https://www.thegoodscentcompany.com/data/rw1242091.html> (дата обращения: 01.03.2024).

12. Vanitha, V. & Vijayakumar, Subramaniyan & Nilavukkarasi, M. & Punitha, V.N. & Vidhya, E. & P.K, Praseetha. (2020). Heneicosane—A novel microbicidal bioactive alkane identified from *Plumbago zeylanica* L. *Industrial Crops and Products*. 154. 112748. 10.1016/j.indcrop.2020.112748.

13. GC-MS M. P. B. Y. *Middle East Journal of Science*.

14. Ihegboro G. O. et al. In vitro Investigation and GC-MS Analysis of the Chemical Constituents in the Fraction of Hexane Leaf Extract of *Tapinanthus bangwensis* (Engl. and K. Krause) *Loranthaceae*: <http://www.doi.org/10.26538/tjpps/v3i1.5> // *Tropical Journal of Phytochemistry and Pharmaceutical Sciences*. – 2024. – Т. 3. – №. 1. – С. 143-152.

15. Shaaban M. T., Ghaly M. F., Fahmi S. M. Antibacterial activities of hexadecanoic acid methyl ester and green-synthesized silver nanoparticles against multidrug-resistant bacteria // *Journal of basic microbiology*. – 2021. – Т. 61. – №. 6. –

С. 557-568.

16. Ibrahim N. A. et al. An Investigation of the Protective Influence of Dates Fruit Against Nephrotoxicity in Wistar Albino Rats Induced by Gentamicin. – 2023.

17. Devanand P. S. et al. Chemical Characterization of *Spathodea campanulata* for natural dye. – 2023.

18. URL:

<https://cosmetics.specialchem.com/ingredients/ethylhexyl-stearate> (дата обращения: 01.03.2024).

19. Juliannah F. et al. GC-MS Based Metabolite Profiling and Phytochemical Screening of Different Solvent Extracts of *Moringa oleifera* Seeds // *South Asian Research Journal of Natural Products*. – 2023. – Т. 6. – №. 3. – С. 207-221.

20. URL:

[https://cosmobase.ru/handbook/show/ETHYL\\_LINOLEATE](https://cosmobase.ru/handbook/show/ETHYL_LINOLEATE) (дата обращения: 03.03.2024).

21. URL: <https://davidsuzuki.org/living-green/dirty-dozen-dibutyl-phthalate/> (дата обращения: 03.03.2024).

22. Devi G. et al. Efficacy of *Moringa oleifera*'s Therapeutic Compounds and its Antimicrobial Activity // *Research Journal of Pharmacy and Technology*. – 2020. – Т. 13. – №. 8. – С. 3867-3872.

23. Micera M. et al. Squalene: More than a step toward sterols // *Antioxidants*. – 2020. – Т. 9. – № 8. – С. 688.

24. URL:

[https://biopax.ru/articles/linolevaya\\_kislota/](https://biopax.ru/articles/linolevaya_kislota/) (дата обращения: 06.03.2024).

25. URL: <https://typeset.io/questions/what-are-the-biological-activities-of-91215-octadecatrienoic-1z293nqe1g> (дата обращения: 04.03.2024).

26. ROOPA M. S. et al. Influence of solvents on phytochemical constituent profile and antioxidant activities of various extracts of *tithonia diversifolia* (hemsl.) a. gray flower // *phytochemical analysis*. – 2021. – Т. 16. – С. 17.

27. URL:

<https://medium.com/@elisamohr1910/octacosanol-market-size-growth-forecast-2023-2030-83269a29efbd> (дата обращения: 06.03.2024).



**ZUBADYLDA Aisulu Serzhankyzy**

Master of the Department of Pharmaceutical Technology  
Kazakh National Medical University named after S. D. Asfendiyarov,  
Kazakhstan, Almaty

*Scientific Advisor –Associate Professor of the Department of Pharmaceutical Technology  
of the Kazakh National Medical University named after S. D. Asfendiyarov  
Omurzakov Manas Toktasynovich*

## **THE STUDY OF THE CHEMICAL COMPOSITION OF A THICK EXTRACT OF MEDIUM STELLARIA (STELLARIA MEDIA L.)**

**Abstract.** *This article discusses the data on the production of alcohol thick extract by ultrasonic extraction and determination of organic compounds of the extract from the plant *Stellaria media* L. 41 organic compounds were determined in the extract of the plant of the medium *Stellaria* (*Stellaria media* L.). This extract contains a large amount of terpenoids and fatty acids. The main of which is octacosan, octacosanol, hexadecanoic acid, 9,12-octadecadienoic acid (Z,Z). The plant has played an important role in the discovery of medicines in both traditional and modern medicine. However, there is no complete information on the phytochemical activity of extracts and isolated compounds. Therefore, this review study is aimed at studying the phytochemical profile of the medium *stellaria* (*Stellaria media* L.). In order to identify the component composition of extracts from *S. media* L. For the first time, the method of gas chromatography with mass spectrometric detection (GC-MS) was used. The research results show that these extracts of *S. media* L. They are promising sources for the production of fatty acids and phenolic compounds.*

**Keywords:** *Stellaria media* L., organic compounds, gas chromatography with mass spectrometric detection, ultrasonic extraction.

# Актуальные исследования

Международный научный журнал

2024 • № 12 (194)

Часть I

ISSN 2713-1513

Подготовка оригинал-макета: Орлова М.Г.

Подготовка обложки: Ткачева Е.П.

*Учредитель и издатель:* ООО «Агентство перспективных научных исследований»

*Адрес редакции:* 308000, г. Белгород, пр-т Б. Хмельницкого, 135

*Email:* [info@apni.ru](mailto:info@apni.ru)

*Сайт:* <https://apni.ru/>

Отпечатано в ООО «ЭПИЦЕНТР».

Номер подписан в печать 25.03.2024г. Формат 60×90/8. Тираж 500 экз. Цена свободная.

308010, г. Белгород, пр-т Б. Хмельницкого, 135, офис 40