



АКТУАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

МЕЖДУНАРОДНЫЙ НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ

ISSN 2713-1513



#3 (185), 2024

часть I

Актуальные исследования

Международный научный журнал

2024 • № 3 (185)

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 Муртазоевич, 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)

Хаитова 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

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Егоров А.Н., Кузнецов А.В.

ОСОБЕННОСТИ ТУШЕНИЯ ПОЖАРОВ В ОФИСНЫХ ЗДАНИЯХ 6

Зайногабденов Н.Р.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ РАДИОПРОЗРАЧНЫХ
СТЕКЛОКЕРАМИЧЕСКИХ ОБТЕКАТЕЛЕЙ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ..... 9

Зыонг Н.А., Страшинин Е.Э., Юрлова А.А.

ИЗУЧЕНИЕ АЛГОРИТМОВ АНАЛОГОВЫХ РЕГУЛЯТОРОВ ACTIVE DISTURBANCE
REJECTION CONTROL ДЛЯ ОБЪЕКТОВ ВЫСОКОГО ПОРЯДКА..... 14

Румянцев Г.В.

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ В ТЕХНИЧЕСКОМ
СЕРВИСЕ 21

Рысин А.В., Бойкачев 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..... 23

Федорова Н.Ю.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПЛАНЕТ: МАРС, ВЕНЕРА И ПЕРСПЕКТИВЫ КОСМИЧЕСКОГО
ТУРИЗМА НА ЛУНУ 52

Шарафутдинов Г.Э.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТРАЕКТОРИИ ДВИЖЕНИЯ РОБОТА В ОГРАНИЧЕННОМ
ПРОСТРАНСТВЕ..... 54

ВОЕННОЕ ДЕЛО

Волков В.В., Серпуховитин Д.И., Нагоев А.А., Пестов С.М.

ПРОБЛЕМЫ НЕАВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УЧЕТА МАТЕРИАЛЬНЫХ
СРЕДСТВ В ВОЙСКАХ НАЦИОНАЛЬНОЙ ГВАРДИИ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ..... 56

Языкбаев Ш.Д.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ФОРМОВКИ-ВЫТЯЖКИ ДЕТАЛЕЙ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ
АППАРАТОВ 59

АРХИТЕКТУРА, СТРОИТЕЛЬСТВО

Зудилин А.Ю.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРЕИМУЩЕСТВ И ВОЗМОЖНОСТЕЙ ФИНСКОЙ ТЕХНОЛОГИИ
СТРОИТЕЛЬСТВА ИЗ ТЕПЛОБЛОКОВ: СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ
С ТРАДИЦИОННЫМИ МЕТОДАМИ СТРОИТЕЛЬСТВА 63

Рубинова Е.А.
УВЯДАЮЩАЯ КРАСОТА: ЗАБРОШЕННЫЕ ПАМЯТНИКИ АРХИТЕКТУРЫ
ТАМБОВСКОЙ ОБЛАСТИ68

МЕДИЦИНА, ФАРМАЦИЯ

Березин Д.Д.
ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СОВРЕМЕННЫХ СИСТЕМ ПОМОЩИ
ПРИНЯТИЯ ВРАЧЕБНЫХ РЕШЕНИЙ, ИХ ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ В РОССИИ
И МИРЕ73

Гулиев Р.Н.
ОРГАНИЗАЦИЯ КОМАНДНОЙ РАБОТЫ В ОПЕРАЦИОННОЙ
ПРИ ЛАПАРОСКОПИЧЕСКИХ ВМЕШАТЕЛЬСТВАХ78

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

ЕГОРОВ Александр Николаевич

студент, Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,
Россия, г. Нижний Новгород

КУЗНЕЦОВ Александр Валерьевич

кандидат технических наук, преподаватель кафедры пожарной тактики и основ
аварийно-спасательных и других неотложных работ,
Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,
Россия, г. Иваново

ОСОБЕННОСТИ ТУШЕНИЯ ПОЖАРОВ В ОФИСНЫХ ЗДАНИЯХ

Аннотация. Настоящая статья рассматривает особенности тушения пожаров в офисных зданиях. Рассмотрены основные отличия пожаров в офисных зданиях от пожаров в жилых домах и соответствующие действия пожарно-спасательных подразделений.

Ключевые слова: офисное здание, тушение пожара, боевые действия пожарно-спасательных подразделений.

Тушение пожара в современном офисном здании с остеклением может создать для пожарных проблемы, которые обычно не встречаются при пожарах в жилых зданиях такого же размера. Пожарные, которые больше привыкли к тушению пожаров в многоквартирных домах, чем в офисах, могут подвергнуть себя опасности, если не обратят внимания на различия между жилыми зданиями и современными офисными центрами. В данной статье рассматриваются эти особенности и объясняется, почему тактика, обычно используемая для тушения пожаров в жилых домах, может оказаться неэффективной при пожаре в современном офисном здании.

В жилых зданиях помещения имеют гораздо большую степень разделения, чем в большинстве офисных зданий, построенных за последние два или три десятилетия. Так, квартиры обычно отделены друг от друга и коридора огнестойкими стенами, которые непосредственно соединяются с нижней частью верхнего этажа. Такое разделение чаще всего ограничивает возгорание пределами того помещения, в котором оно возникло, и позволяет реализовывать стратегию «защиты на месте», при которой пожарная служба предписывает

большинству жильцов оставаться в своих квартирах, пока пожарные тушат пожар. Однако в случае необходимости жителям придется покинуть свои относительно безопасные квартиры и эвакуироваться через задымленные коридоры и лестницы.

Современные офисные здания обычно строятся с небольшим количеством перегородок на каждом этаже или вообще без них. По сути, каждый этаж представляет собой одну большую потенциальную зону пожара, которая может составлять сотни квадратных метров и требует полной эвакуации всех, кто работает на данном этаже. С учетом значительной пожарной нагрузки большинства офисов (бумага, мебель) пожары в больших офисных помещениях могут быстро развиваться до такой степени, что для их локализации потребуются силы и средства нескольких пожарных частей.

Открытая площадь позволяет арендаторам обустраивать свои офисы в соответствии с потребностями. Между потолком и полом остается большое пространство, которое обычно используется для электропроводки, телефонных и компьютерных кабелей, а также воздуховодов для систем отопления, вентиляции и кондиционирования. Использование

потолочного пространства офиса в качестве воздушной камеры может быть эффективным с экономической точки зрения, но не с точки зрения пожарной безопасности. Оно может распространить дым от одной горящей пластиковой корзины для мусора по всему этажу. И для выпуска этого дыма будет недостаточно просто открыть несколько окон. Поэтому предусмотренный строительными нормами [1] датчик дыма в системе кондиционирования должен ее отключать [2].

Еще одно важное различие между жилыми и современными офисными зданиями заключается в том, что в жилых зданиях обычно есть окна, которые можно легко открыть для проветривания. В офисных зданиях для их открытия зачастую необходим специальный ключ или окна имеют фиксированные створки, которые невозможно открыть. Встречаются крупные современные офисные здания, в которых нет ни одного открывающегося окна. Проблема вентиляции здания с окнами с фиксированными створками усложняется, когда стекло ударопрочное, а окна изолированы двумя или более стеклами. При ударе оба слоя стекла могут разбиться, но внутренний слой пластика сопротивляется проникновению и сохраняет окно нетронутым. Изоляционные слои обычного стекла в некоторых окнах при разбивании образуют большие зазубренные осколки, подобные осколкам стекла, которые могут серьезно порезать пожарных.

Разделение помещений в современных офисных зданиях еще больше ухудшается, когда арендатор арендует два или более этажей, а затем соединяет лестницей. Лестницы позволяют сотрудникам удобно перемещаться с этажа на этаж, однако они так же свободно позволяют перемещаться с этажа на этаж дыму и огню, поскольку лестница не заключена в огнестойкую шахту.

Работники офисного здания, пытающиеся спастись от пожара, могут попасть в ловушку и погибнуть, если двери на выходных лестничных клетках будут заперты со стороны лестницы. Это обычная практика обеспечения безопасности в офисах, направленная на предотвращение несанкционированного проникновения. Стандартной процедурой для пожарных является протягивание шлангов по лестничным клеткам для тушения пожара на верхних этажах. Открытие двери лестничной клетки для продвижения шланга по этажу с пожаром неизбежно позволит дыму проникнуть в

лестничную шахту и, по сути, превращает ее в дымоход. Если работники, спускающиеся по лестнице с этажей над пожаром, столкнутся с дымом, поднимающимся вверх по лестничной шахте, они могут оказаться в ловушке на лестничной клетке из-за запертых дверей. Чтобы этого не произошло, двери лестничных клеток должны автоматически разблокироваться при срабатывании системы пожарной сигнализации; к сожалению, зачастую этого не происходит. Поэтому пожарные должны убедиться, что на лестнице над пожаром нет людей, прежде чем открывать дверь лестничной клетки на этаж с пожаром [3].

Запертые двери лестничной клетки также создают проблему. Поскольку двери выхода, ведущие на лестничные клетки, должны открываться в направлении выхода, пожарные, которым приходится открывать их со стороны лестничной клетки, не смогут использовать гидравлический инструмент для принудительного входа. В этом случае необходимо использовать дисковую пилу для резки металла.

Готовясь к тушению пожара на верхнем этаже жилого дома, пожарным зачастую достаточно ознакомиться с устройством этажа ниже. Это поможет им сориентироваться в дыму на этаже с пожаром, поскольку поэтажное устройство большинства жилых домов, за исключением первого этажа, по сути, одинаково. Такое редко случается с современными офисными зданиями, где, по сути, нет двух одинаковых этажей. Каждый офисный комплекс может представлять собой отдельный запутанный лабиринт помещений. Поэтому при ликвидации пожара в офисном здании нужно попытаться определить место возгорания и способы добраться до него, а также оценить необходимую длину рукава, прежде чем прокладывать его в темное, задымленное офисное помещение. Чрезвычайно полезным при попытке обнаружить пожар и обозначить путь к нему может оказаться использование направляющих тросов и тепловизионной камеры.

При поиске источника пожара в современном офисном здании следует при входе на этаж с пожаром открыть потолок и убедиться, что источник располагается не над головами пожарных.

Продвижение рукавов в большом офисном здании требует скоординированных усилий нескольких пожарных, расположенных вдоль рукава, для перемещения его вокруг углов и препятствий. Сначала следует проложить

шланг на этаж под пожаром. Затем нужно аккуратно расположить его в виде буквы «S», чтобы облегчить плавное продвижение и убедиться, что все потенциальные перегибы устранены. К счастью, многие современные офисные здания оснащены системами сигнализации, которые обнаруживают пожар, указывают его местонахождение на панели сигнализатора и отключают систему отопления, вентиляции и кондиционирования. Однако определить место пожара может быть сложно или невозможно, если панель сигнализации не имеет соответствующей маркировки.

Таким образом, современные офисные здания являются прекрасным примером того, почему пожарные должны не только уметь тушить пожары, но и быть в курсе изменений в проектировании зданий, требований норм и строительных материалов. Однако не стоит

забывать, что, какой бы сложной и «высокотехнологичной» ни была работа пожарных, ее суть – подача тушащих средств вместо пожара – не меняется.

Литература

1. Свод правил СП 484.1311500.2020 «Системы противопожарной защиты. Системы пожарной сигнализации и автоматизация систем противопожарной защиты. Нормы и правила проектирования».
2. Свод правил СП 60.13330.2016 «Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха».
3. Клименти Н.Ю. Пожарная тактика. Особенности ведения тактических действий по тушению пожаров на различных объектах: учебное пособие / Н.Ю. Клименти, О.С. Власова. Волгоград: ВолгГАСУ, 2015. 314 с.

EGOROV Alexander Nikolaevich

Student, Ivanovo Fire and Rescue Academy of the State Fire Service of the Ministry of Civil Defense, Emergencies and Disaster Response of the Russian Federation, Russia, Nizhny Novgorod

KUZNETSOV Alexander Valeryevich

Candidate of Technical Sciences, Lecturer at the Department of Fire Tactics and Fundamentals of Emergency Rescue and other urgent Work, Ivanovo Fire and Rescue Academy of the Ministry of Emergency Situations of Russia, Russia, Ivanovo

PECULIARITIES OF FIREFIGHTING IN OFFICE BUILDINGS

Abstract. *The present article considers the peculiarities of firefighting in office buildings. The main differences between fires in office buildings and fires in residential buildings and the corresponding actions of fire and rescue units are considered.*

Keywords: *office building, fire extinguishing, firefighting strategies.*

ЗАЙНОГАБДЕНОВ Наиль Рифатович

студент, Оренбургский государственный университет, Россия, г. Оренбург

*Научный руководитель – профессор Оренбургского государственного университета,
доктор технических наук, профессор Припадчев Алексей Дмитриевич*

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ РАДИОПРОЗРАЧНЫХ СТЕКЛОКЕРАМИЧЕСКИХ ОБТЕКАТЕЛЕЙ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

Аннотация. Данная статья посвящена анализу и выбору материалов для головных обтекателей летательных аппаратов с радиолокационной системой наведения. Обтекатели играют ключевую роль в обеспечении теплозащиты, эффективности системы наведения и радиопрозрачности. Рассмотрены требования к материалам, такие как теплоизоляция, прочность, термостойкость, радиопрозрачность, устойчивость к воздействию факторов окружающей среды. В работе проведен анализ различных материалов, таких как стеклопластики, керамические материалы, стеклокристаллические материалы, с акцентом на стеклокерамике. Выводы подчеркивают важность баланса между техническими требованиями и практической реализацией при выборе материала для обтекателей.

Ключевые слова: головной обтекатель, летательные аппараты, радиолокационная система наведения, радиопрозрачность.

Введение

Головной антенный обтекатель представляет собой ключевой элемент конструкции летательного аппарата (ЛА), который значительно влияет на аэродинамические характеристики и точность наведения на цель. Ему предъявляются стандартные требования, характерные для ЛА, такие как минимальная масса при обеспечении достаточной прочности и надежности. Обтекатели систем управления ЛА должны обладать комплексом радиотехнических свойств, включая отсутствие искажений и ослабления мощности электромагнитного потока для радиоволн заданного спектра частот. Они также выполняют защитные функции, обеспечивая работоспособность аппаратуры при воздействии эксплуатационных факторов.

1. Условия эксплуатации и требования к головным обтекателям

Постоянное увеличение скорости и маневренности летательных аппаратов приводит к повышению аэродинамических нагрузок на их компоненты и увеличению температур на поверхности. Диапазоны изменения этих параметров для различных классов определяются в зависимости от высоты и скорости полёта, достигая значений, превышающих 10 МПа и 3000°C.

Радиопрозрачный обтекатель, предназначенный для защиты антенны головки самонаведения от аэродинамического давления воздуха и перегрева, представляет собой ключевой и неотъемлемый элемент головной части современных ракет и многих высокоскоростных самолетов. Его воздействие на пеленгующую моноимпульсную антенну велико. Ошибки направления головки самонаведения с таким обтекателем существенно превосходят собственные ошибки свободной моноимпульсной антенны, что может привести к снижению дальности действия на 20–50%. Угловой градиент ошибок направления в системе «антенна-обтекатель» сильно воздействует на работу контура самонаведения из-за постоянно меняющихся параметров и знаков паразитной обратной связи в управлении управляющими поверхностями летательного аппарата. Поэтому наличие радиолокационной системы наведения в контуре управления ЛА предъявляет свои требования к обтекателю, который должен быть радиопрозрачным и минимально искажать электромагнитное поле в заданном спектре рабочих частот [1, с. 6-12].

Проблема обеспечения устойчивости радиотехнических характеристик обтекателей в различных частотных диапазонах систем наведения становится более сложной из-за

постоянного расширения этого диапазона. В процессе полета летательные аппараты подвергают обтекатели наиболее интенсивному воздействию окружающей среды, причем интенсивность зависит от скорости полета. Скорости летательных аппаратов с 1945 по 1955 год увеличились до 2 М, с 1955 по 1970 год – до 3...6 М, с 1979 по 1985 год – до 7...8 М. В настоящее время для некоторых летательных аппаратов скорости достигают 10 М и выше. Основные характеристики обтекателей определяются

целями использования и условиями эксплуатации летательных аппаратов. Широкий диапазон скоростей и высот полета обуславливает необходимость обеспечения стабильной работы системы «обтекатель-антенна» как при низких, так и при высоких температурах. В таблице представлены некоторые требования к летательным аппаратам различных классов, из чего видно, что на обтекатель оказывают воздействие значительные тепловые потоки и аэродинамические силы [2].

Таблица

Эксплуатационные воздействия и радиотехнические требования к антенным обтекателям ЛА

Класс ЛА	Тепловой поток, МВт/м ²	Аэродинамический напор, МПа	Скорость нагрева, К/с	Максимальная температура поверхности, К	Время автономного полёта, с	Радиопрозрачность, %
В-В	0,210	0,5	100	1300	40...60	85
ЗУР	2,100	2,5	200	1600	50...70	80
П-В	4,200	5,0	400	>3300	40...60	85
В-П	1,300	1,5	100	1300...1800	300...400	80
БСРД	21...42	5,0	500	>3300	10...20	70
МБР	210	>10,0	700	>3300	10...30	70

Для поддержания определенной температуры газовой среды в носовом отсеке летательного аппарата, окружающей радиотехническую аппаратуру, материалы обтекателей должны обладать отличными теплоизоляционными характеристиками, включая низкую теплопроводность, высокую прочность и термостойкость в широком диапазоне температур.

Перевозка летательных аппаратов воздушного базирования (классов «В – В» и «В – П») на внешней подвеске самолета приводит к интенсивной пылевой и дождевой эрозии головных обтекателей во время взлетов и посадок. Это может значительно изменить структуру антенных обтекателей из-за изменения толщины и накопления влаги в порах, что отрицательно сказывается на их радиотехнических характеристиках. При резком охлаждении также возможно разрушение обтекателя.

Материалы, используемые для обтекателей летательных аппаратов в условиях совместного полета, подвергаются динамическим, вибрационным и стационарным сжимающим, растягивающим, изгибающим и скручивающим нагрузкам. Они должны быть способными выдерживать резкие температурные перепады, включая как небольшие изменения, так и значительные скачки температуры в течение короткого времени. Кроме того, в некоторых случаях материалы обтекателей могут

подвергаться высокоинтенсивным инфракрасным, акустическим, ионизирующим и другим видам излучений, при этом сохраняя свои рабочие свойства для обеспечения автономного полета [3, с. 14-17].

При сверхзвуковых скоростях полета возникают термоциклические нагрузки, которые в сочетании с рассмотренными ранее факторами создают дополнительные переменные напряжения в материалах конструкций летательных аппаратов. В связи с этим особенно важными становятся влагозащитные и антиэрозионные покрытия, параметры которых требуется тщательно согласовывать, учитывая их диэлектрические характеристики, теплопроводность, термостойкость и коэффициент температурного линейного расширения.

В процессе полета летательного аппарата на гиперзвуковых скоростях происходит интенсивная тепловая эрозия обтекателя, что ведет к изменению его радиотехнических и теплопрочностных характеристик. Поэтому при проектировании обтекателя необходимо учитывать это явление с помощью тщательного выбора материалов и прогнозирования изменения их свойств в процессе полета.

При анализе всего комплекса требований, предъявляемых к современным антенным обтекателям высокоскоростных летательных аппаратов, можно выделить иерархический

характер их потребительских свойств (требований). Эти свойства в первую очередь обеспечиваются материалом, технологией изготовления и конструкцией обтекателя.

2. Анализ конструкционных материалов, используемых в головных обтекателях летательных аппаратов

Достижение более высоких тактико-технических характеристик летательных аппаратов, особенно в контексте широкополосности и аэродинамических нагрузок, предъявляет повышенные требования к обтекателям. При скоростях полета от 8 до 10 М анализ теплонапряженного состояния конструкции подчеркивает необходимость поиска новых решений для обеспечения работоспособности обтекателя.

Головной обтекатель современного летательного аппарата является универсальным устройством, предназначенным для обеспечения теплозащиты, поддержания несущей способности конструкции при аэродинамических воздействиях и нормального функционирования системы наведения на цель. Одним из основных вызовов при проектировании обтекателей является выбор материала и конструктивной схемы, которые, с одной стороны, должны гарантировать эффективную работу системы наведения для выполнения основных задач летательного аппарата, а с другой стороны, материалы должны быть доступными, технологичными и обладать минимальной плотностью [4, с. 12-14].

В современных летательных аппаратах применяются головные обтекатели, которые изготовлены на основе стеклопластиков, керамических материалов, ситаллов и углепластиков. Из этого перечня радиопрозрачными материалами являются только первые три группы [5].

В период с 1950 по 1956 года, когда скорости ракет находились в диапазоне от 2 до 5 Мах, обтекатели радиоантенн изготавливались из стеклопластиков. Однако основным ограничителем в применении стеклопластиков при высоких температурах была их недостаточная термостойкость, вызывающая термоокислительную деструкцию органических полимеров.

Даже самые термостойкие полимеры, такие как кремнийорганические и полиамидные, начинают деструкцию при температурах в диапазоне 300-400°C и не обеспечивают долгосрочную работу стеклопластиков при умеренных температурах. Замена матрицы в полимерных стеклопластиках на неорганическую позволяет повысить температурную стойкость

стеклопластиков. В качестве материалов матрицы для неорганических стеклопластиков могут быть использованы соединения с высокой температурной устойчивостью (плавления), такие как оксиды (SiO_2 , CaO , MgO , Al_2O_3), соли в виде силикатов, фосфатов, алюминатов, а также смешанные системы в виде цементов.

С начала 70-х годов относительная доля обтекателей из стеклопластиков резко сократилась, уступая свое место керамическим материалам. Керамические конструкционные материалы, такие как ситаллы, оксидная керамика, кварцевая керамика и стеклокерамика, стали наиболее распространенными. Широкое использование керамических материалов обусловлено их высокими температурами плавления, прочностью при сжатии, сохраняющейся при высоких температурах, и устойчивостью к окислению [6, с. 45-54].

Керамические и волокнистые материалы на основе кварцевого стекла считаются наиболее перспективными и в настоящее время являются единственными материалами для изготовления антенных обтекателей высокоскоростных ракет, таких как С-300 в России и Patriot в США. Эти материалы обладают уникальным комплексом свойств, таких как высокая стабильность диэлектрических характеристик в широком диапазоне температур и частот, исключительная устойчивость к термоударам и высокие теплозащитные характеристики. Кроме того, производство изделий из этих материалов технологично, базируется на отечественных не дефицитных сырьевых ресурсах, и материалы легко поддаются модификации для достижения нужных свойств [2].

Тем не менее, следует отметить, что большинство существующих материалов обладают ограниченными теплозащитными свойствами, в частности, они быстро прогреваются за 40–45 секунд. Это создает дополнительные трудности при проектировании, так как требуется обеспечить теплозащиту внутреннего объема обтекателя (аппаратуры) и разработать соединения с керамической оболочкой и металлическим шпангоутом с использованием клеевых и механических элементов.

Керамические материалы обладают серьезными недостатками, которые неизбежно проявляются при разработке обтекателей. Эти недостатки включают в себя низкую ударную вязкость и высокую механическую жесткость. Низкая ударная вязкость приводит к ограниченной трещиностойкости, чувствительности к

концентрациям напряжений и воздействиям локальных нагрузок, особенно ударных. Высокая механическая жёсткость создает трудности при механической обработке в процессе изготовления обтекателей.

Важность прочностных характеристик керамических материалов при механических воздействиях является ключевым фактором для их применимости в реальных конструкциях, особенно в условиях высоких температур. Однако значения прочности при термических нагрузках, особенно при резких температурных перепадах, также могут играть решающую роль в определении пригодности этих материалов для конкретных конструкций.

Проведенный анализ результатов показывает, что летательные аппараты с обтекателями из кварцевой керамики обладают наивысшими скоростями полета, за которыми следуют стеклокерамика и ситаллы (ОТМ-357, Пирокерам 9606, АС-418 и Рейкерам). В последние десятилетия проектирование и технологии производства обтекателей из ситаллов значительно продвинулись, решены многие материаловедческие проблемы, что позволило предложить новые конструкционные решения по сравнению со стеклопластиковыми.

На данный момент стеклокристаллические материалы являются наиболее перспективными для обтекателей летательных аппаратов воздушного базирования. Эти материалы широко применяются в ракетах класса «В – В», «В – П» и в некоторых типах зенитных ракет. Стеклокерамика для обтекателей ЛА представляет интерес, прежде всего, благодаря низкому влагопоглощению (не требует защитного лакокрасочного покрытия) и высокой стойкости к воздействию климатических факторов. Кроме того, она сохраняет теплопрочностные и диэлектрические свойства в широком диапазоне температур и обладает более высокими прочностными характеристиками по сравнению с кварцевой керамикой.

Вывод

Разработка обтекателей для ракетных систем с радиолокационной системой наведения представляет собой сложную задачу, требующую учета множества факторов. Обтекатель должен быть радиопрозрачным, минимизировать искажение электромагнитного поля в заданном спектре частот. В условиях полета обтекатель подвергается разнообразным воздействиям, таким как тепловые потоки,

аэродинамические силы и различные нагрузки. Головные обтекатели также подвержены пылевой и дождевой эрозии в процессе взлетов и посадок.

Выбор материала для обтекателя является ключевой проблемой, требующей баланса между радиопрозрачностью, теплоизоляцией, прочностью и термостойкостью. Материалы должны выдерживать резкие температурные перепады, эрозию от гиперзвуковых потоков и другие воздействия. Кроме того, они должны быть технологичными и доступными для обеспечения нормального функционирования системы наведения. Это требует компромисса между высокими техническими требованиями и практической реализацией.

Литература

1. Русин М.Ю. Исследование технологии обеспечения радиотехнических характеристик радиопрозрачных обтекателей летательных аппаратов в условиях их разработки и производства. // Вопросы проектирования и производства конструкций летательных аппаратов. Сб. научных трудов Гос. аэрокосмич. Ун-та им П.Е.Жуковского (ХАИ). Х.: ХАИ, 2000. вып. 22(5). С.6-12.
2. Ромашин А.Г., Гайдачук В.Е., Карпов Я.С., Русин М.Ю. Радиопрозрачные обтекатели летательных аппаратов. // Учебн. Пособие. Харьков «ХАИ», 2003. 238с.
3. Русин М.Ю. От технического задания на разработку – к экспорту обтекателей // Наука производства. № 9–1999. С. 14-17.
4. Соловьёв В.И., Ахлестин Е.С., Сысоев Э.П. и др. Перспективы развития порошковой технологии // Стекло и керамика, №3. – 1986. С. 12-14.
5. Суздальцев Е.И. Синтез высокотермостойких, радиопрозрачных стеклокерамических материалов и разработка технологии изготовления на их основе обтекателей летательных аппаратов. // Диссертация на соискание учёной степени доктора технических наук. Обнинск, 2002. 431с.
6. Русин М.Ю. Методика определения теплофизических характеристик керамических материалов для обтекателей радиоантенн летательных аппаратов // Вопросы проектирования и производства конструкций летательных аппаратов: Сб. науч. трудов Гос. аэрокосмич. ун-та им. П.Е. Жуковского. Х.: «ХАИ», 2000. Вып. 20(3). С 45-54.

ZAINAGABDINOV Nail Rifatovich

Student, Orenburg State University, Russia, Orenburg

*Scientific Advisor – Professor of Orenburg State University, Doctor of Technical Sciences,
Professor Pripadchev Alexey Dmitrievich*

TECHNOLOGICAL PECULIARITIES OF MANUFACTURING OF RADIO- TRANSPARENT GLASS-CERAMIC FAIRINGS OF AIRCRAFTS

Abstract. *This article is devoted to the analysis and selection of materials for the head fairings of aircraft with radar guidance system. Fairings play a key role in thermal protection, guidance system performance and radio transparency. Material requirements such as thermal insulation, strength, durability, thermal resistance, radio transparency, and resistance to environmental factors are discussed. The paper analyzes various materials such as fiberglass plastics, ceramic materials, and glass-crystalline materials, with emphasis on glass-ceramics. The conclusions emphasize the importance of balancing between technical requirements and practical implementation in the choice of fairing material.*

Keywords: *head fairing, aircraft, radar guidance system, radio transparency.*

ЗЫОНГ Нгок Ань

студентка, Институт радиоэлектроники и информационных технологий,
Уральский федеральный университет имени Б. Н. Ельцина, Россия, г. Екатеринбург

СТРАШНИН Евгений Эрастович

профессор, кандидат технических наук, доцент,
Уральский федеральный университет имени Б. Н. Ельцина, Россия, г. Екатеринбург

ЮРЛОВА Алиса Алексеевна

старший преподаватель, Институт радиоэлектроники и информационных технологий,
Уральский федеральный университет имени Б. Н. Ельцина, Россия, г. Екатеринбург

ИЗУЧЕНИЕ АЛГОРИТМОВ АНАЛОГОВЫХ РЕГУЛЯТОРОВ ACTIVE DISTURBANCE REJECTION CONTROL ДЛЯ ОБЪЕКТОВ ВЫСОКОГО ПОРЯДКА

Аннотация. Основная цель работы – исследование и усовершенствование регулятора Active Disturbance Rejection Control (ADRC). Для формирования вектора уставки, включающего в себя производные командного сигнала, в регулятор ADRC введён наблюдатель командного сигнала волновой структуры. Методология исследования включает в себя сравнение ADRC с регуляторами, такими как модальный регулятор и регулятор, приспособляющийся к возмущениям волнового типа. В результате получено, что система управления с ADRC более приспособлен к работе с возмущениями, чем система управления с модальным регулятором.

Ключевые слова: Active Disturbance Rejection Control (ADRC), наблюдатель, порядок, полоса пропускания регулятора, полоса пропускания наблюдателя, сигнал волновой структуры.

Введение. Выдающийся профессор электро-технической и вычислительной техники, эксперт в области систем управления, посвятивший 50 лет обучению нескольких поколений инженеров в Университете Алабамы в Хантсвилле (УАН), К. Д. Джонсон был всемирно известен благодаря своей теории управления с учетом возмущений [5, с. 254-407], которую он разработал и применил к аэрокосмическим системам, представляющим интерес для многих компаний и правительственных учреждений. В классификации сигналов дополнительно к случайным и детерминированным он ввёл понятие «сигнал волновой структуры» (СВС).

СВС – это сумма аналитических функций с весовыми коэффициентами, изменяющимися в случайные моменты времени. Оказалось, что если в качестве аналитических функций брать степени времени,

$$w(t) = c_1 + c_2 t + c_3 t^2 + c_4 t^3 + c_5 t^4, \quad (1)$$

то для оценки СВС можно использовать Наблюдатель Льюенберга [4, с. 210].

В тех случаях, когда возмущения, действующие на объект, являются СВС, разработаны регуляторы [2], обеспечивающие полное парирование помехи и астатизм без интеграторов, вводимых внутрь замкнутого контура обратной связи.

В настоящей работе используются регуляторы [1], обеспечивающие эффективное управление объектами с неизвестным математическим описанием и проводится сопоставление регулятора ADRC с методом модального синтеза.

Сигнал волновой структуры. При классификации сигналов вводится сигнал волнового типа [5, с. 254; 6, с. 341] и в дальнейшем рассматриваются только такие возмущения, действующие на объект. В [1, с. 3] при использовании регуляторов ADRC, рассматриваются объекты с неизвестным математическим описанием. В этом случае СВС используется для введения виртуального вектора состояния.

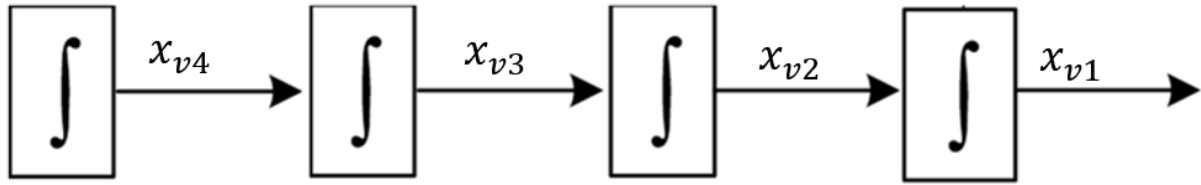


Рис. 1. Виртуальный вектор состояния

Этой схеме соответствует векторно-матричное уравнение состояния СВС:

$$\dot{\vec{x}}_v(t) = Dv \cdot \vec{x}_v(t), \quad (2)$$

где матрица динамики волнового сигнала:

$$Dv = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}, \quad (3)$$

$$\begin{cases} \dot{\vec{x}}_v = A\vec{x}_v + Bu + Ef, \\ y_v = Cx_v \end{cases}, \quad (4)$$

где:

$$A = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}_{5 \times 5}, B = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ b_0 \\ 0 \end{bmatrix}_{5 \times 1}, E = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix}_{5 \times 1}, \quad (5)$$

$$C = [1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0]_{1 \times 5}$$

Е является матрицей возмущения. Мы рассматриваем «Шар на плате» как объект с неизвестным математическим описанием. Но на этапе моделирования объект представлен правдоподобным описанием:

$$\begin{cases} \dot{\vec{x}}_{ob} = A_{ob}\vec{x}_{ob} + B_{ob}u \\ y = Cx_{ob} \end{cases}$$

с матрицами

$$A_{ob} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{-m_b \cdot g \cdot R_b^2}{m_b \cdot R_b^2 + J_b} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ \frac{-m_b \cdot g}{J_p + J_b} & 0 & \frac{K_k + p_{a01}}{J_p + J_b} & 0 \end{bmatrix}; B_{ob} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ \frac{p_{a10}}{J_p + J_b} \end{bmatrix}; C_{ob} = [1 \ 0 \ 0 \ 0], \quad (6)$$

Наблюдатель виртуального состояния синтезирован следующим образом:

$$\begin{cases} \dot{x}_{v1} = x_{v2} + \beta_1(y - y_v) \\ \dot{x}_{v2} = x_{v3} + \beta_2(y - y_v) \\ \dot{x}_{v3} = x_{v4} + \beta_3(y - y_v) \\ \dot{x}_{v4} = x_{v5} + \beta_4(y - y_v) + b_0 u \\ \dot{x}_{v5} = \beta_5(y - y_v) \end{cases}, \quad (7)$$

где $\beta_{i,i=\overline{1,5}}$ – коэффициенты невязки наблюдателя. Это обычный наблюдатель Люенбергера, только в данном случае, порядок системы четыре, а порядок наблюдателя пять, поэтому он

$$x_v = \begin{bmatrix} x_{v1} \\ x_{v2} \\ x_{v3} \\ x_{v4} \\ x_{v5} \end{bmatrix}_{5 \times 1}, A_e = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}_{5 \times 5}, \beta_e = \begin{bmatrix} \beta_1 \\ \beta_2 \\ \beta_3 \\ \beta_4 \\ \beta_5 \end{bmatrix}_{5 \times 1}, B_e = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ b_0 \end{bmatrix}_{5 \times 1}, \quad (9)$$

$$C_e = [1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0]_{1 \times 5},$$

x_{v5} – оценка возмущения.

Теория регулятора ADRC. При использовании метода ADRC как было сказано выше, динамика объекта, внешнее возмущение, шум измерения описываются как СВС. Общий алгоритм построения ADRC для системы высокого порядка показан в [1, с. 2]. В данной статье рассматриваем построение ADRC для объекта «Шар на плате» четвертого порядка, тогда в соответствии с [1] уравнения виртуального объекта имеют вид:

называется «расширенным» наблюдателем состояния. Модальный и ADRC регуляторы используют наблюдатель для восстановления координат состояний объектов. В отличие от наблюдателя Люенбергера, где используется математические модели объекта, наблюдатель ADRC используют волновые модели объекта.

В матричном виде:

$$\dot{x}_v = A_e x_v + K_e(y - C_e x_v) + B_e u, \quad (8)$$

где:

На рисунке 2 приведена структурная схема наблюдателя виртуального состояния.

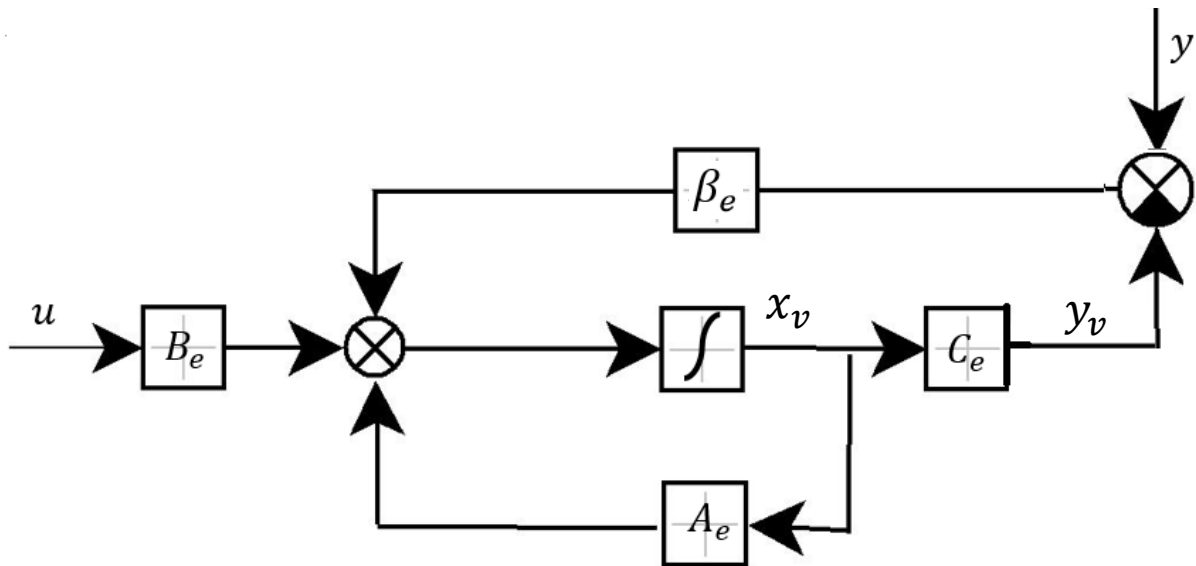


Рис. 2. Наблюдатель виртуального состояния

Закон управления по [1]:

$$u = \frac{k_1(r - x_{v1}) + k_2(\dot{r} - \dot{x}_{v2}) + k_3(\ddot{r} - \ddot{x}_{v3}) + k_4(r^{(3)} - x_{v4})}{b_0} - \frac{x_{v5}}{b_0} = K(\bar{r} - x_v), \quad (10)$$

где $K = \frac{1}{b_0} [k_1 \ k_2 \ k_3 \ k_4 \ 1] = \frac{1}{b_0} [\omega_c^4 \ 4\omega_c^3 \ 6\omega_c^2 \ 4\omega_c \ 1]$ – матрица коэффициентов усиления регулятора (англ. controller gain), $\bar{r} = [r \ \dot{r} \ \ddot{r} \ r^{(3)} \ 0]^T$ – вектор управления. В Simulink для формирования вектора управления используем наблюдатель командного сигнала, представляя командный сигнал, как волновой сигнал 4 порядка.

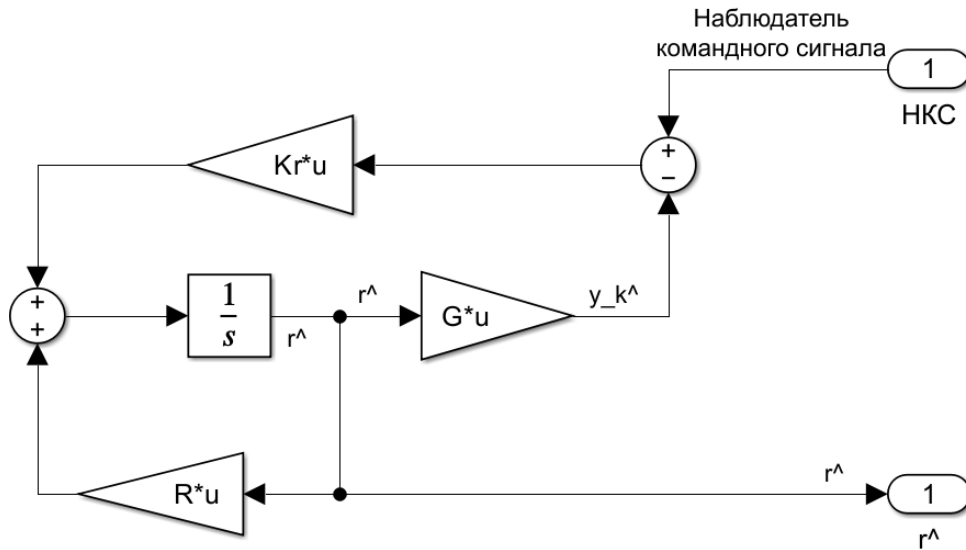


Рис. 3. Наблюдатель командного сигнала

Как в [1] было показано, коэффициенты усиления наблюдателя и регулятора вычисляются через полосы пропускания регулятора и наблюдателя следующим образом:

$$\begin{cases} \beta_j = \frac{(n+1)!}{j!(n+1-j)!} \omega_0^j, (j = \overline{1, n+1}) \\ k_i = \frac{n!}{(i-1)!(n+1-i)!} \omega_c^{n+1-i}, (i = \overline{1, n}) \end{cases} \quad (16)$$

где n – порядок системы, ω_0 – полоса пропускания наблюдателя, ω_c – полоса пропускания регулятора. β_j и k_i не что иное, а биномы Ньютона $(\omega_0 + 1)^5$ и $(\omega_c + 1)^4$.

Синтез систем управления. Необходимо подобрать всего 3 параметра b_0, ω_0, ω_c , так как коэффициенты невязки наблюдателя и коэффициенты усиления регулятора базируются на этих трех параметрах. Для подбора параметров используется блок автоматического поиска Matlab Check Step Response. Настроим параметры данного блока следующим образом: Final Value = 0.2 (м, уставка), Rise Time = 2.5 (время нарастания), Setting Time = 3 (время регулирования), Overshoot = 10 % (перерегулирование), остальные параметры оставим по

умолчанию. Управляющее воздействие является напряжением, поставим на него ограничение ± 2.5 В. Также поставим ограничение на изменение скорости входного сигнала *Rising slew*

rate и *Falling slew rate* ± 0.1 . Возмущение в радианах добавлено к углу наклона платы, его график на рисунке 4 ниже.

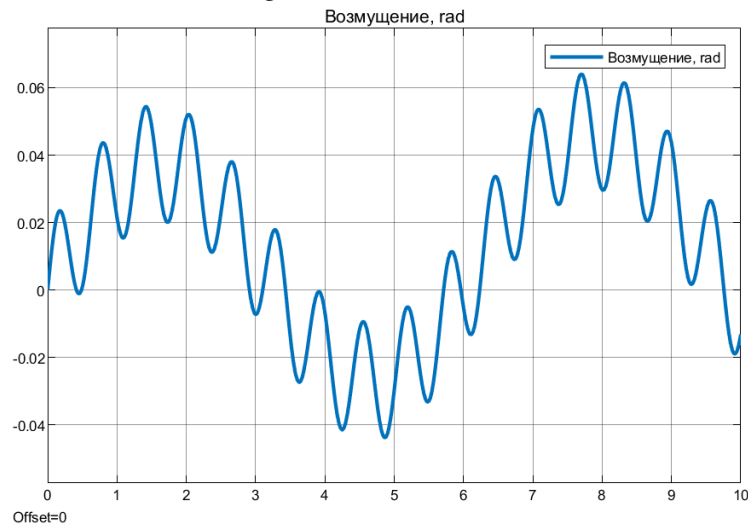


Рис. 4. Возмущение, приведенное к углу наклона платы

Реализованная структурная схема системы управления показана на рисунке 5.

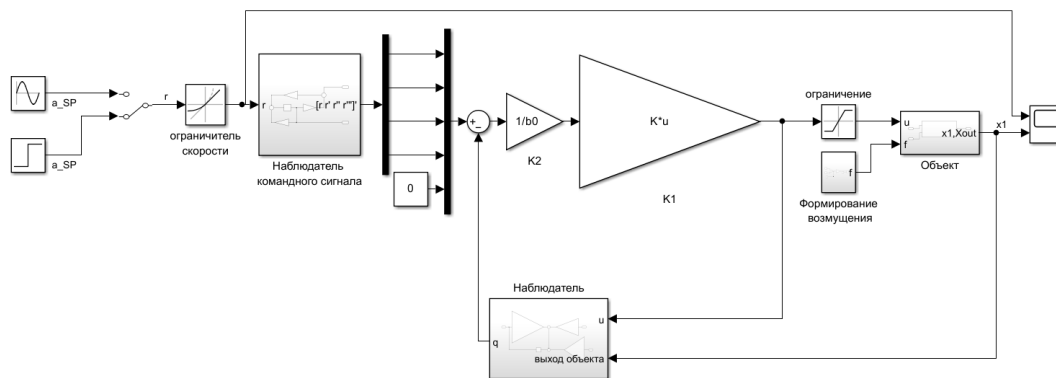


Рис. 5. Структурная схема системы управления

С помощью метода оптимизации *Gradient descent* в блоке *Check Step Response* были подобраны коэффициенты регулятора: $b_0 = 34.9914$, $\omega_0 = 580.363$, $\omega_c = 3.2153$.

Промоделируем синтезированную систему управления с настроенными коэффициентами, для сигнала уставки, показанного на рисунке 6

синим цветом. Красным цветом показан выход объекта – координат шара. На рисунке 6а представлена реакция системы управления без внешнего возмущения на объект, а на рисунке 6б представлена реакция системы управления с возмущением в соответствии с рисунком 4.

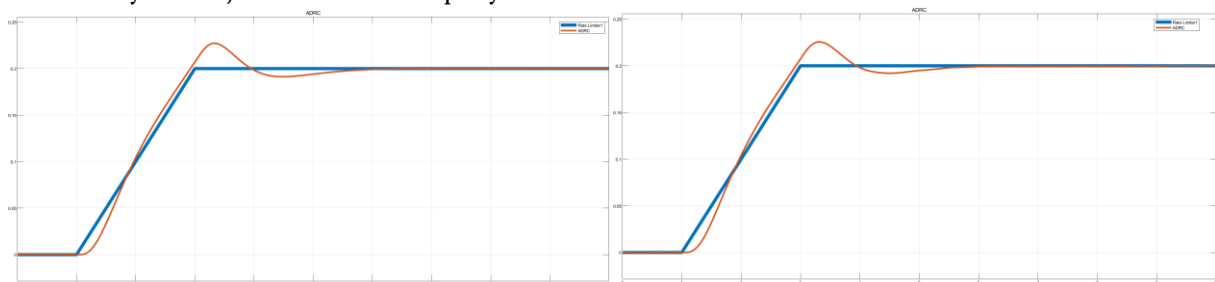


Рис. 6. Переходный процесс с подобранными параметрами: а) без возмущения б) с возмущением

Реализованное выше возмущение не оказывает визуального сильного воздействия на переходный процесс системы управления.

$$\sigma = \left| \frac{y_{\max} - y_{\text{уст}}}{y_{\text{уст}}} \right| \cdot 100 = \left| \frac{0.225 - 0.2}{0.2} \right| \cdot 100 = 12.5\%$$

- Время регулирования 2.7 с.

Определим критерии качества переходного процесса с 5 % дельта-трубкой:

- Перерегулирование:

Для переходного процесса на рисунке 6, ADRC регулятор формирует управляющий сигнал на рисунке 7.

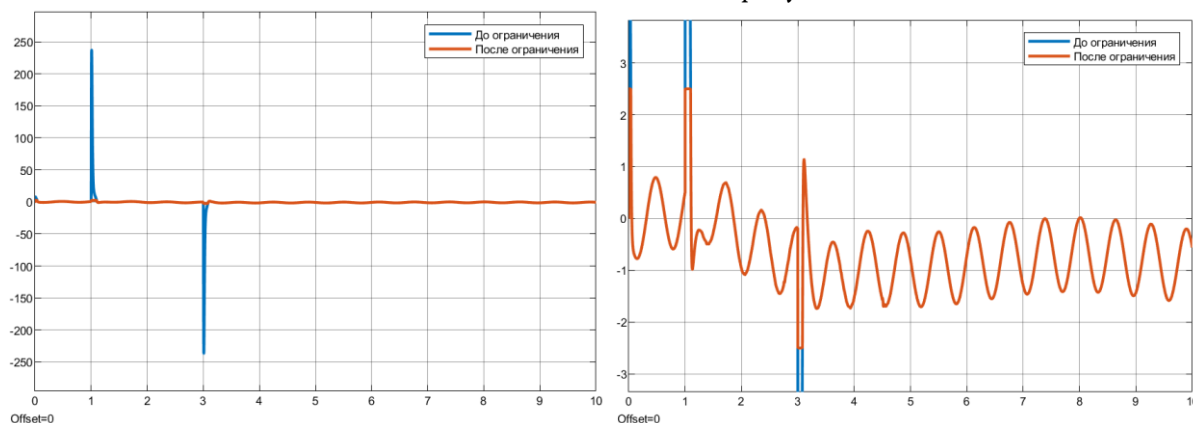


Рис. 7. Управляющее воздействие: а) в полном масштабе; б) в увеличенном масштабе

Как видно из графиков управляющего сигнала, при резком изменении сигнала уставки, регулятор формирует большие выбросы управляющего сигнала. Но на входе объекта стоит ограничитель сигнала $\pm 2,5$ В, что не отражается на качестве процессов.

При формировании уставки необходимо учитывать, что система управления не терпит резких ее изменений, так как при резком

изменении данного сигнала, система управления может стать неустойчивой.

Сравнения модального регулятора и ADRC.

Сравним системы управления «Шар на плате» с ADRC и с модальным регулятором. Как видно из рисунка 8, качество переходного процесса у обеих систем удовлетворительное. У модальной системы управления время регулирования больше, а перерегулирования меньше, чем у ADRC.

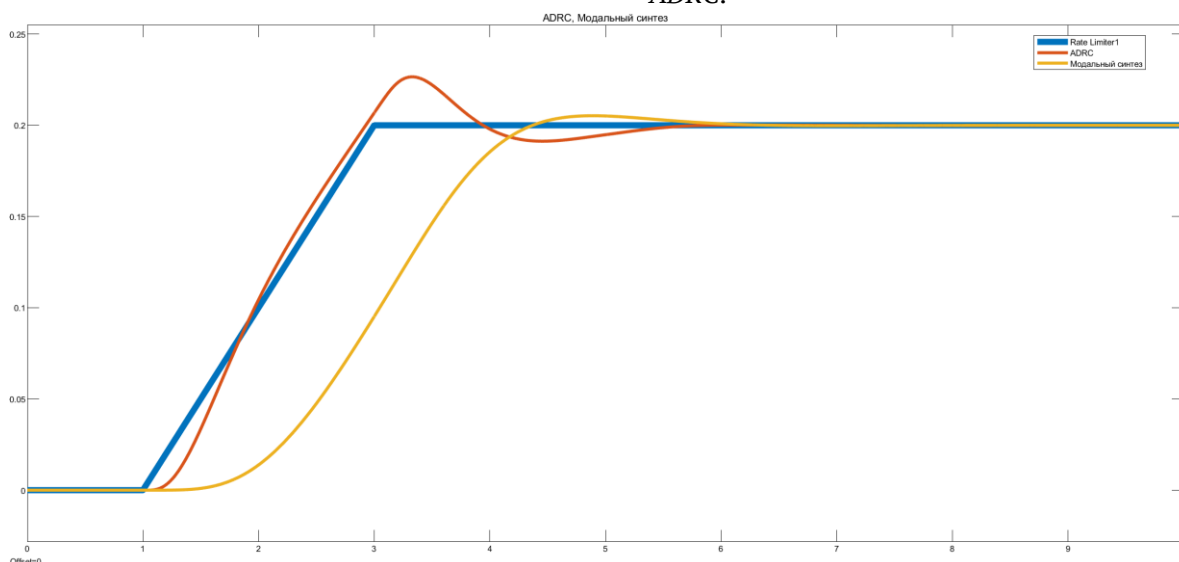


Рис. 8. Переходный процесс при ADRC и модальном регуляторах

На рисунке 8 уставка показана синим цветом; ADRC красным; модальный регулятор желтым цветом.

На рисунке 9 представлены переходные процессы тех же систем управления с внешним возмущением (рис. 4), добавленным к углу наклона платы.

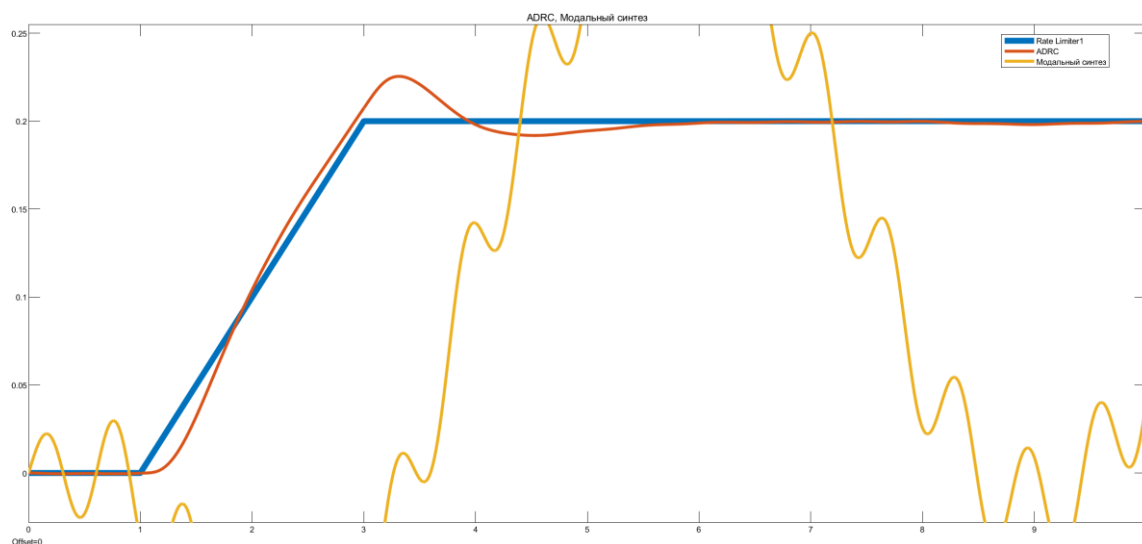


Рис. 9. Переходные процессы ADRC и модальном регуляторах с возмущением

Как видно из рисунков 8 и 9 при наличии возмущения система управления с ADRC сохраняет нормальное качество работы регулятора, в то время как модальная система становится неработоспособной.

Заключение. Регулятор ADRC имеет схожую идею в построении системы управления с модальным, и, в особенности, с волновым регулятором, приспособляющимся к возмущению. В каждом из трех регуляторов присутствует наблюдатель, который на основе данных, полученных от объекта управления, оценивает различные сигналы. В модальном регуляторе – это оценки координат состояния объекта; в регуляторе, приспособляющемся к возмущениям – это оценки координат состояния объекта и внешнего возмущения; а в ADRC – это оценки координат состояния объекта, с предполагаемым математическим описанием волновой структуры. ADRC оценивает производные выходной координаты объекта управления.

Волновой регулятор, приспособляющийся к возмущению, использует волновое представление возмущения, а ADRC использует волновое представление состояния объекта, компенсирующее отсутствие математического описания.

В результате сравнения модального и ADRC регуляторов было получено, что модальный регулятор неработоспособен при внешнем волновом возмущении, в то время как системы управления с ADRC практически не замечают точно такие же возмущения.

В будущем необходимо провести аналогичное исследование цифрового варианта с ADRC.

Литература

1. Active disturbance rejection control design for high-order integral systems. Zhenlong Wu, Gengjin Shi, Donghai Li, Yanhong Liu, YangQuan Chen. July 2021, ISA Transactions 125(3), DOI:10.1016/j.isatra.2021.06.038.
2. Adapting to disturbances regulator. Yurlova A. A., Strashinin E. E., 2018. Ural Symposium on Biomedical Engineering, Radioelectronics and Information Technology (USBEREIT).
3. Исследование и синтез системы управления стендом «Шар на плате»: лабораторный практикум / А.А. Панова, И.А. Ровайн, Е.Э. Страшинин. – Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2017. – 107, [1] с. ISBN 978-5-7996-2091-2.
4. Теория автоматического управления: учебник; Е. Э. Страшинин, А.Д. Заколяпин, С.П. Трофимов, А.А. Юрлова. Мин-во науки и высш. образования РФ. – Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2019. – 456 с. – (Учебник УрФУ). ISBN 978-5-7996-2788-1.
5. Теория регуляторов, приспособляющихся к возмущениям. Джонсон К. В книге «Фильтрация и стохастическое управление в динамических системах». Под ред. К.Т.Леондеса Москва, «Мир» 1980, 407 с.
6. Управление конечномерными линейными объектами. Андреев Ю.Н. – Москва: Наука, 1976, 424 с.

ZUONG Ngoc An

student, Institute of Radioelectronics and Information Technologies,
Ural Federal University named after B. N. Yeltsin, Russia, Yekaterinburg

STRASHININ Evgeny Erastovich

Professor, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,
Ural Federal University named after B. N. Yeltsin, Russia, Yekaterinburg

YURLOVA Alice Alekseevna

Senior lecturer, Institute of Radioelectronics and Information Technologies,
Ural Federal University named after B. N. Yeltsin, Russia, Yekaterinburg

STUDYING ALGORITHMS OF ANALOG REGULATORS ACTIVE DISTURBANCE REJECTION CONTROL FOR HIGH-ORDER OBJECTS

Abstract. *The main purpose of the work is to study and improve the Active Disturbance Rejection Control (ADRC) regulator. To form the setpoint vector, which includes the production of a command signal, an observer of the command signal of the wave structure is introduced into the ADRC controller. The research methodology includes a comparison of ADRC with regulators such as a modal regulator and a regulator that adapts to wave-type disturbances. As a result, it was found that the control system with ADRC is more adapted to working with disturbances than the control system with a modal regulator.*

Keywords: *Active Disturbance Rejection Control (ADRC), observer, order, regulator bandwidth, observer bandwidth, wave structure signal.*

РУМЯНЦЕВ Григорий Владимирович
магистрант, Казанский государственный энергетический университет,
Россия, г. Казань

Научный руководитель – доктор технических наук Гильфанов Камиль Хабибович

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ В ТЕХНИЧЕСКОМ СЕРВИСЕ

Аннотация. В статье рассматриваются современные технологии энергосбережения, которые играют важную роль в оптимизации использования энергетических ресурсов и повышении эффективности технического обслуживания и ремонта автомобилей. Описываются такие технологии, как применение светодиодного освещения, автоматизированных систем управления освещением, использование теплоизолирующих материалов, а также оптимизация работы систем вентиляции и кондиционирования воздуха.

Ключевые слова: технический сервис, энергосбережение, светодиодное освещение, автоматизированные системы управления освещением, теплоизолирующие материалы, вентиляция и кондиционирование воздуха, рекуператоры, программируемые контроллеры, энергоэффективность, оптимизация энергопотребления.

Современные технологии энергосбережения играют важную роль в повышении эффективности технического обслуживания и ремонта автомобилей, а также в оптимизации использования энергетических ресурсов. В данной статье мы рассмотрим основные технологии, которые используются для достижения этих целей.

Одним из наиболее эффективных методов энергосбережения является применение светодиодного освещения в автосервисах. Светодиодные лампы обладают высокой энергоэффективностью, долговечностью и надежностью, что позволяет значительно снизить затраты на электроэнергию. Кроме того, светодиодные лампы обеспечивают более равномерное и качественное освещение, что улучшает условия труда и повышает производительность. Вот ещё несколько примеров современных эффективных методов энергосбережения при освещении помещений:

1. Применение датчиков движения - они автоматически включают освещение при появлении людей и выключают его, когда помещение пустует.

2. Установка системы автоматического регулирования яркости освещения – она позволяет экономить электроэнергию, снижая интенсивность освещения при низком уровне активности людей.

3. Использование световодов для передачи света от источников света к удаленным помещениям, что снижает потери на передачу света.

4. Установка зеркал и отражающих поверхностей для отражения света и увеличения освещенности помещений.

5. Применение интеллектуальных систем управления освещением – они позволяют контролировать и оптимизировать освещение в зависимости от времени суток, погодных условий и других факторов.

В заключение стоит отметить, что современные технологии энергосбережения являются неотъемлемой частью технического сервиса и играют ключевую роль в оптимизации использования энергоресурсов. Применение светодиодных ламп, автоматизированных систем управления освещением, теплоизолирующих материалов и технологий энергосбережения в системах вентиляции и кондиционирования позволяет значительно сократить затраты на электроэнергию, улучшить условия труда и повысить качество обслуживания клиентов.

Литература

1. Абрамов А.А., Алексеев В.В., Ананьев А.В. и др. Энергосбережение и повышение энергетической эффективности в автомобильном транспорте и автосервисе. Москва, 2013.

2. Балакин Б.Ф., Брюханов О.Н., Вагин А.И. и др. Основы энергосбережения и энергоэффективности. Москва, 2012.

3. Бутузов В.М., Васильев А.Г., Воронин Н.П. и др. Методы и технологии энергосбережения на предприятиях автомобильного транспорта. Москва, 2009.

4. Данилов Г.Н., Елизаров В.Е., Казарцев Е.В. и др. Повышение энергоэффективности в сфере технического обслуживания и ремонта автотранспорта. Москва, 2014.

5. Дулин Д.В., Дулин В.П., Евсеев А.Б. и др. Практические аспекты энергосбережения в автосервисе. Санкт-Петербург, 2010.

RUMIANTSEV Grigory Vladimirovich

Master's student, Kazan State Power Engineering University, Kazan, Russia

Scientific Advisor – Doctor of Technical Sciences Gilfanov Kamil Khabibovich

MODERN ENERGY SAVING TECHNOLOGIES IN TECHNICAL SERVICE

Abstract. *The article discusses modern energy saving technologies that play an important role in optimizing the use of energy resources and improving the efficiency of car maintenance and repair. Technologies such as the use of LED lighting, automated lighting control systems, the use of thermal insulation materials, as well as optimization of ventilation and air conditioning systems are described.*

Keywords: *technical service, energy saving, LED lighting, automated lighting control systems, thermal insulation materials, ventilation and air conditioning, heat exchangers, programmable controllers, energy efficiency, optimization of energy consumption.*

РЫСИН Андрей Владимирович

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

БОЙКАЧЕВ Владислав Наумович

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

СОКОЛОВ Алексей Дмитриевич

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

НАЯНОВ Алексей Михайлович

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

ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТЕЙ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ОПТИМИЗИРОВАННОГО МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНОГО РАДИО-МОДУЛЯ БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА (БПЛА) В КАЧЕСТВЕ ЭЛЕМЕНТА АКТИВНОЙ ФАЗИРОВАННОЙ АНТЕННОЙ РЕШЁТКИ (АФАР) КАК СРЕДСТВА СВЯЗИ

Аннотация. На современном этапе развития систем радиоуправления и связи остро стоит вопрос об оптимизации радиоэлектронных устройств в микромодульном исполнении в составе АФАР с целью снижения экономических затрат за счёт унификации и многофункционального использования. При этом есть необходимость в оптимизации работы под конкретные специфические задачи с учётом связи, радиотехнической разведки, определения местоположения источников радиоизлучения противника и постановки радиопомех. В данной статье на основе анализа характеристик известных радиосистем связи предлагаются функциональные схемы и конкретные технические решения поставленных задач.

Ключевые слова: радио-модуль БПЛА, космические системы связи, оптимизированные функциональные схемы обработки радиосигнала в радио-модуле, компоновка радио-модулей в АФАР в сочетании с устройством управления.

В соответствии с [1, 2, 3, 4] мы установили оптимальные радиотехнические параметры для радио-модуля БПЛА и первичные возможные функциональные схемы с учётом использования в широком диапазоне частот для радиоуправления, радиосвязи и навигации с определением максимума по скрытности передаваемого сигнала для средств радиотехнической разведки (РТР). При этом, максимальная скорость передачи информации в режиме BPSK (ФМ-2) была определена в 38-50 Мбит/сек, в режиме QPSK (ФМ-4) в 76-100 Мбит/сек, а в режиме QAM (ФМ-4 с амплитудной двухуровневой модуляцией) в 114 -150 Мбит/сек. Тактовая частота дискретизации должна быть от 114 до 150 МГц, что связано с необходимостью наличия 3 тактов на символ с целью исключения ошибки дискретизации при выполнении теоремы Котельникова. Аналого-цифровой преобразователь (АЦП) должен иметь разрядность в 13-14 бит для повышения точности

определения смещения частоты Доплера, и времени прихода сигналов для навигации за счёт использования сплайнов по амплитуде. Кроме того, мы показали возможность размещения радиоэлементов для узлов БПЛА на платах при наличии размеров не более, чем у аналогов и прототипов, и привели первичные соответствующие функциональные схемы. Далее в [5, 6] мы рассмотрели оптимизацию радио-модуля БПЛА на основе выбора конкретной функциональной схемы и конструктивного размещения радиоэлементов с учётом многофункциональности и ширпотреба, так как это позволяет значительно сократить издержки по изготовлению и быстро осуществить экспериментальную проверку режимов работы. При этом оптимизация проведена с учётом сравнения с существующими аналогами и прототипами. В [7] была рассмотрена возможность самого создания АФАР БПЛА на предлагаемых радио-модулях при многофункциональном

использовании в широком диапазоне частот. Здесь фактически получило обоснование функциональная схема с использованием промежуточной частоты перед сбросом сигнала на нулевую частоту, что позволяет осуществить сложение сигналов по фазе от патч - антенн, и при этом стало возможно использовать режим дуплекса на несущей и промежуточной частоте. Это фактически позволяет совместить свойства направленной антенны на несущей частоте с ненаправленной антенной на промежуточной частоте и повысить помехозащищённость. Однако теперь необходимо оценить возможности использования АФАР на радио-модулях для конкретных режимов работы на современном театре военных действий (ТВД) и при применении помехозащищённых протоколов связи. Самыми простыми функциями, которыми должен обладать БПЛА – это иметь радиоуправление и передавать необходимые данные, например, оптическое изображение местности, на командный пункт управления (КПУ). По сути это означает использование БПЛА как средства связи с приёмом и передачей. Соответственно как показывает опыт боевых действий, наибольшая эффективность достигается при применении нескольких БПЛА, имеющих между собой связь, что позволяет повысить помехозащищённость и решать конкретные задачи по радиотехнической разведке (РТР), радиоэлектронной борьбе (РЭБ), обнаружению

средств противника и определению их местоположения.

При наличии нескольких БПЛА не обойтись без многопользовательского варианта связи. Кроме того, БПЛА могут являться наиболее надёжным способом связи между военными подразделениями в силу малозаметности и мобильности. В соответствии с этим необходимо рассмотреть известные способы связи при большом количестве пользователей, но в рамках оптимизированного варианта АФАР исходя из возможных размеров размещения на БПЛА. В данном случае при наличии АФАР из 16 предлагаемых радио-модулей из радиоэлементов ширпотреб по [7] с размещением на БПЛА Орлан - 10. При этом мы должны рассмотреть все многофункциональные режимы такой связи для обеспечения помехозащищённости. За основу аналогов связи в режиме телефонного разговора (ТЛФ) и режима «Интернет» при использовании АФАР с большим количеством пользователей примем системы используемые в низкоорбитальных спутниковых системах связи (НССС) таких как «Iridium», «Globalstar», «OneWeb» и «Starlink». При этом, при сравнении с предлагаемыми вариантами, мы будем учитывать, что основная разница будет в количестве пользователей, радиотехнических параметрах, и расстоянии и местоположении до пользователей. Рассмотрим вначале временную диаграмму кадра связи для пользователей НССС «Iridium» по рисунку 1.

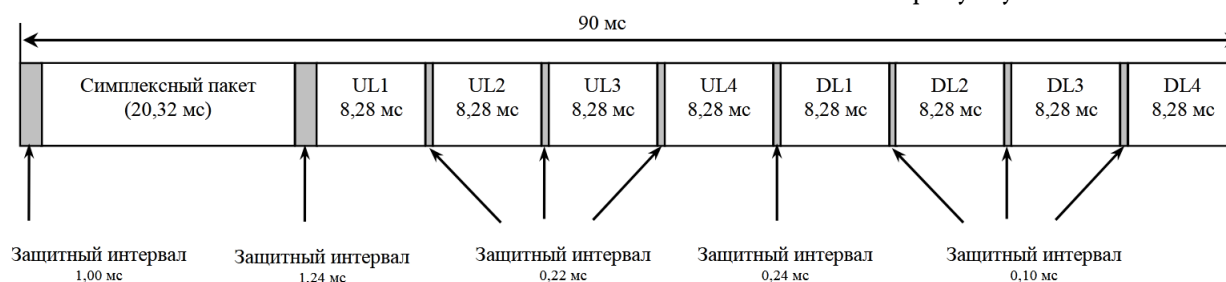


Рис. 1. Формат МДВР - кадра космического аппарата (КА) «Iridium»
(UL1-UL4 – восходящие каналы, DL – нисходящие каналы)

Собственно данный формат используется уже после поиска, обнаружения сигнала и вхождения в связь с абонентом при временном согласовании. Здесь, вначале для подстройки и служебной информации используется преамбула (Simplex-симплексный пакет) в течение 20,32 мксек. При этом присутствует временное разделение между четырьмя пользователями на приём и передачу. Защитный интервал в 100 мксек при передаче на абонента связан с тем, что существует различная дальность от КА до

абонента, и она допускается на величину в 30 км с учётом скорости света. При передаче от абонента на КА это различие взято с допуском более 66 км (220 мксек). Такой выбор, видимо, связан с тем, что возможен вариант моментального ответа при малом количестве пользователей. Скорость передачи информации на одного пользователя в режиме ТЛФ составляет 2,4 кбит/сек при обслуживании одним КА 2500 пользователей одновременно. Данная скорость передачи информации выбрана уже с учётом

исключения ошибок при приёме. При этом скорость передачи информации на одного пользователя при выбранном кадре по рисунку 1 должна быть в 50 кбит/сек. Это означает, что в течение одного кадра в 90 мсек, будет принято информации одним пользователем в $50 \text{ кбит/сек} \times 8,28 \text{ мсек} = 414 \text{ бит}$. За одну секунду это составит 4,6 кбит/сек, то есть в 2 раза больше, чем отмечено выше, что собственно позволяет использовать для исключения ошибок даже код Манчестера. При этом, один космический аппарат (КА) способен обслуживать одновременно 6 АФАР $\times 8$ лучей $\times 4$ слота $\times 6$ параллельных каналов приёма (передачи) = 1152 абонента при приёме со скоростью 4,6 кбит/сек. Относительно систем связи военного назначения НССС «Iridium» обладает низкой помехоустойчивостью, так как не использует кодирование битов информации в силу того, что скорость передачи информации в 50 кбит/сек идёт непрерывно, что позволяет разговор со скоростью не более 4,6 кбит/сек при большом количестве абонентов. В отличие от системы связи «Iridium» система связи «Globalstar» использует кодирование информации в 128 бит на символ информации, но при скорости передачи в 1,2228 Мбит/сек. При этом скорость передачи информации может быть, от 2,4 кбит/сек до 9,6 кбит/сек. Отсюда следует, что если мы хотим повысить скорость передачи информации с использованием возможности повышения помехоустойчивости, то нам необходимо увеличивать скорость передачи символов с наличием кодирования. Учитывая уменьшение расстояния от БПЛА до абонента, как минимум в 50 раз по сравнению с космическими системами, мы имеем преимущество в энергетическом потенциале в 2500 раз. Это позволяет повысить скорость передачи с 50 кбит/сек до 125 Мбит/сек. Однако как мы показали в [1] скорость передачи ограничивается исходя из роста энергетических потерь в квадрате в зависимости от частоты. При этом оптимальный вариант скорости передачи существует в пределах от 38 Мбит/сек до 50 Мбит/сек (BPSK), и здесь тактовая частота дискретизации с учётом теоремы Котельникова и исключения ошибок от дискретизации должна быть в три раза выше до 150 Мбит/сек. Это означает, что добиться максимума порядка 125 Мбит/сек-150 Мбит/сек можно, используя более сложную модуляцию, например, модуляцию QAM, при соответствующих энергетических потерях, которые имеют прямо

пропорциональную зависимость. Отсюда оптимум уже определяется тем, что усложнение модуляции даёт рост потерь пропорционально, в то время как за счёт увеличения тактовой частоты дискретизации энергетические потери возрастают по квадратичной зависимости. Собственно, данная скорость передачи информации оптимальна и для режима «Интернет» (это системы связи «OneWeb» и «Starlink») и приёма цифрового оптического изображения с высоким разрешением, так как при передаче информации на КПУ можно использовать метод модуляции QAM (амплитудная модуляция по двум возможным уровням амплитуды совместно с ФМ-4) вместо BPSK (ФМ-2), при скорости от 114 Мбит/сек до 150 Мбит/сек. Как мы показали в [1-7], предлагаемые радио-модули в составе АФАР на БПЛА позволяют обеспечивать режимы работы известных систем связи для многопользовательских услуг. Соответственно теперь необходимо определить возможности АФАР БПЛА при конкретном функциональном решении в помехозащищённом режиме протокола связи. Понятно, что начальный этап связан с поиском и обнаружением сигнала вызова от абонента или БПЛА. Это означает, что желательно выделить начальное время (оно должно повторяться периодически), в течение которого будет осуществляться привязка абонентов к БПЛА для радиосвязи. Для учёта периодичности запросных сигналов будем ориентироваться на то, что в системе связи «Iridium», в типичных эксплуатационных условиях продолжительность сигнала «звонок» составляет 2,1 с. Отсюда соответственно выделяются начальные запросные временные промежутки времени для сигнала от БПЛА к абонентам и временные промежутки для ответа или вызова от абонентов к БПЛА. При этом желательно, чтобы режим вызова вписывался в режим кадра работы в телефонном режиме (ТЛФ), что исключает смену режимов через две секунды. Однако в отличие от системы «Iridium» здесь необходимо соблюсти скрытность ответных и запросных сигналов. Это достигается за счёт использования разных несущих частот при запросе и ответе, с возможным изменением этих частот во времени по определённому закону известному абонентам и БПЛА и при наличии кодового сигнала с уровнем амплитуды в шумовом сигнале, что обеспечивает выделение сигнала информации за счёт накопления. При этом длительность кодового

сигнала должна быть такова, чтобы поиск и обнаружение имели минимальное время.

Будем исходить из того, что мы должны обеспечить надёжную связь с помощью БПЛА находящихся в тылу с абонентами в войсках на дальности 20 км от линии соприкосновения. Это позволяет исключить поражение средствами ПВО противника, которые тоже не могут располагаться близко к линии боевого соприкосновения из-за возможности уничтожения огнём артиллерии. Вычислим, какая в этом случае будет допустимая полоса пропускания у

$$L = 3,57 \times h^{0,5} = 3,57 \times 150^{0,5} = 43,7 \text{ км.} \quad (1)$$

Таким образом, определим приём наших радиосигналов наземным мобильным средством РТР противника на расстоянии $D_{\text{цтрпр}}=40$ км от БПЛА. То есть дальность средства РТР противника от линии соприкосновения на ТВД также составляет 20 км. Как показано по формуле (1), это не позволяет противнику обнаружить сигнал от БПЛА или сам БПЛА на дальних расстояниях более 40 км с высоким коэффициентом направленного действия (к.н.д.) антенны. Иными словами средства РТР противника также должны быть мобильными и в большом количестве. Средства РТР обычно используются совместно со средствами радиоэлектронной борьбы (РЭБ), так как просто обнаружить сигнал от БПЛА это не значит прервать связь. Уничтожить БПЛА на дальности в 40 км средствами ПВО довольно сложная задача, так как могут использоваться отвлекающие источники сигналов от других БПЛА, а в условиях гибкой перестройки параметров связи ответ в виде помехи должен быть практически мгновенным. Соответственно, время связи без влияния помех на театре военных действий (ТВД) играет первостепенную роль, но по сигналу помехи возможно определение местоположения средства РТР противника, которые стоят не

абонента, чтобы в течение времени вызова сигнал БПЛА не был обнаружен.

Вначале мы будем предполагать использование для обнаружения сигнала наземных средств РТР и ПВО противника, и считаем, что высота полёта нашего БПЛА в режиме связи не превышает 150 метров. Расчёт видимости БПЛА средством РТР противника, находящегося на Земле, будем проводить по формуле, представленной в [8], где L – расстояние прямой видимости [км], а $h=150$ – высота полёта БПЛА [м]:

дёшево, так как здесь требуется радиотехническая разведка в широком диапазоне частот от сотен МГц до десятков ГГц. Собственно эффективная поверхность рассеяния (ЭПР) от антенн РТР противника при охвате широкого диапазона частот достаточно велика и может быть до нескольких квадратных метров с учётом мобильного наземного средства передвижения. Поэтому в этом случае важно иметь такие средства подальше от линии боевого соприкосновения, чтобы не быть уничтоженными артиллерией.

Для обеспечения скрытности будем предполагать использование сигнала вызова от БПЛА мощностью $P_{\text{ц}}=0,04$ Вт. Здесь учитывается, что мощность излучения, например, при методе Wi-Fi может составлять 16 дБм (0,04 Вт), при скорости передачи в 200 кбит/сек, что в 4 раза выше, чем для системы «Iridium», при дальности связи в несколько километров, и при отсутствии направленных антенн. В нашем случае используется АФАР БПЛА, что существенно увеличивает расстояние для связи, тем более в режиме ТЛФ. При этом мы будем предполагать, что применяется для связи АФАР, состоящая из 16 радио-модулей [7], как это показано на рисунке 2.

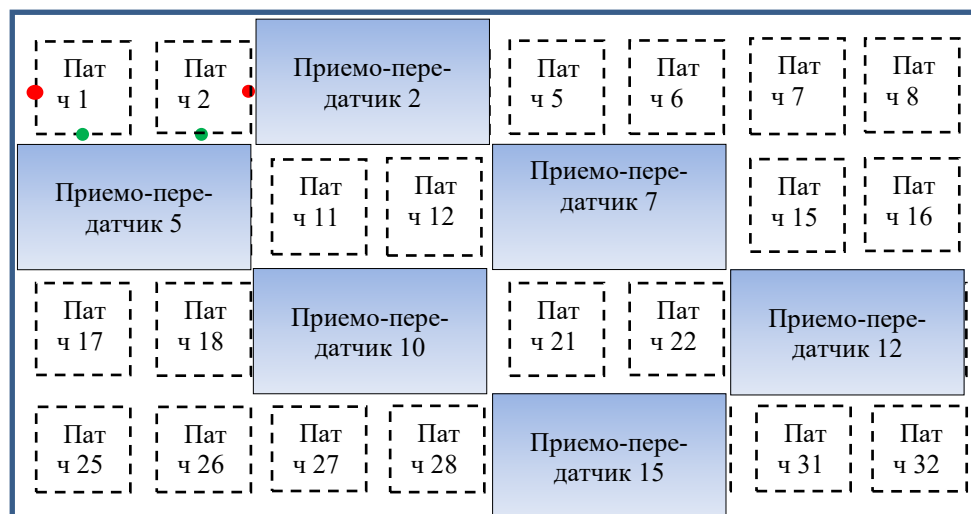


Рис. 2. АФАР для связи, состоящая из 16 радио-модулей при 32 патч, здесь возможно управление лучами, как по азимуту, так и углу места при 4-х под АФАР

При определении коэффициента усиления АФАР (как РТР, так и БПЛА) будем исходить из

известных аналогов и прототипов. Так, известна антенна [9] по рисунку 3.

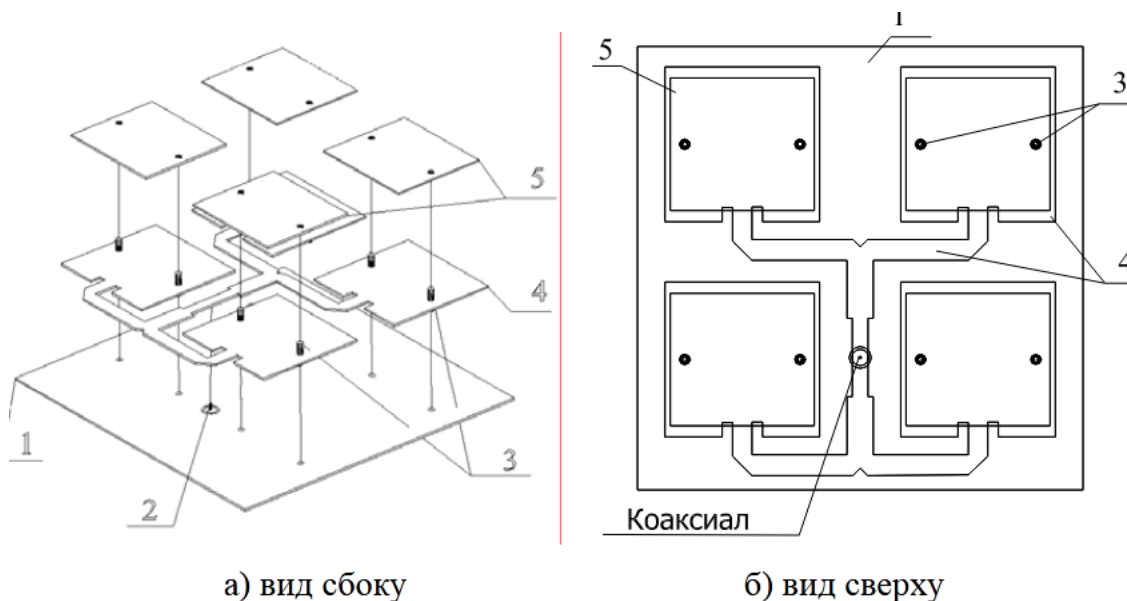


Рис. 3. Антенна АФАР из 4-х элементов с воздушным заполнением

Эта антенна из 4-х элементов обеспечивает коэффициент усиления в 14,5 дБ при КСВ равным 1,2, в диапазоне 2,35 ГГц-2,55 ГГц.

Диаграмма направленности представлена на рисунке 4.

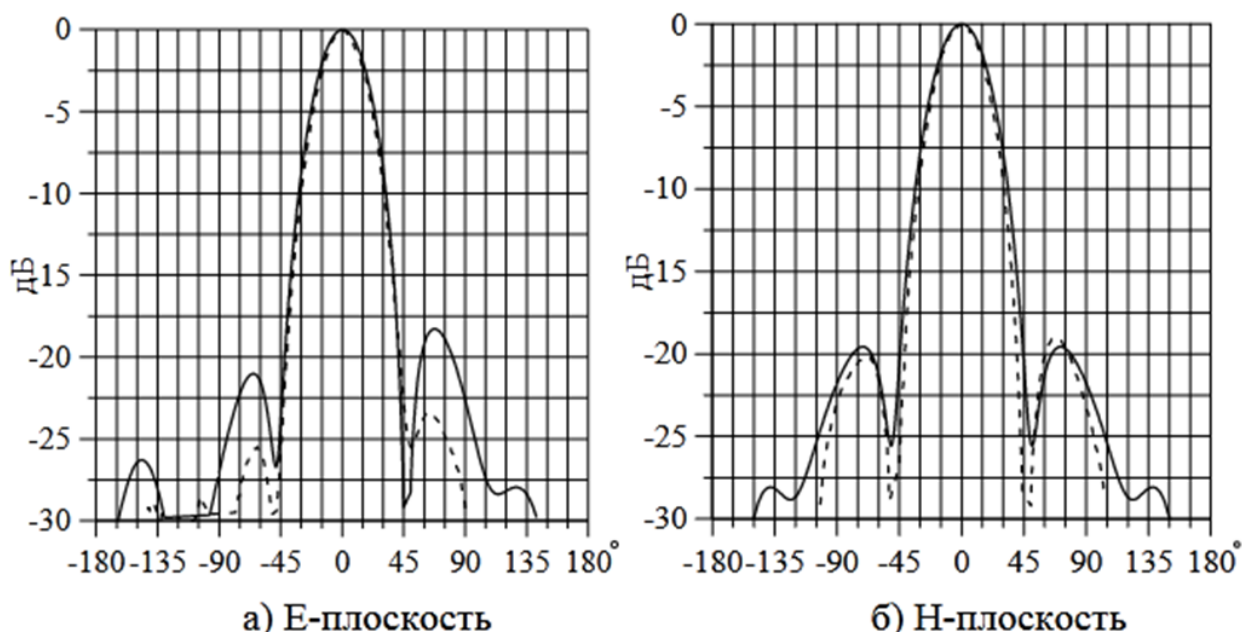


Рис. 4. Антенна из 4-х элементов патч, моделирование – это сплошные линии, штриховые линии – это экспериментальные с шириной диаграммы направленности в 34 градуса

Преимущество нашего варианта в том, что у нас питающий шлейф не находится на плоскости расположения патч, а находится внутри на соответствующем слое многослойной печатной платы антенны. Так как у нас АФАР БПЛА состоит из 32 элементов патч, то соответственно коэффициент усиления в 8 раз выше и будет составлять $G_{бп\lambda} = 223,341$ (23,5 дБ) при размерах 56 см × 28 см (один радио-модуль имеет размеры 14 см × 7 см). Соответственно при приёме сигнала вызова от нашего БПЛА в направлении на средство РТР противника по уровню первого бокового лепестка (-18 дБ), исходя из рисунка 4, коэффициент усиления составит $G_{цбл} = 223,341/63,1 = 3,54$ (23,5 дБ-18 дБ=5,5 дБ). При этом будем считать, что передача информации радиосигналом от БПЛА осуществляется символами, со скоростью передачи 41 Мбит/сек, и соответственно имеется накопление по коду при несущей частоте 2,4 ГГц ($\lambda_{ц} = 0,1263$ м). В нашем случае коэффициент усиления антенны РТР противника с учётом [9] и при размерах 56 см × 56 см может иметь значение $G_{ртр} = 446,683592$ (17,5 дБ+9 дБ=26,5 дБ), что сравнимо с коэффициентом усиления одной из шести антенн на космическом аппарате

(КА) системы связи «Iridium». Аналогичные размеры антенн в диаметре порядка 60 см имеют антенны для абонентов в системе связи «Starlink». Это достаточно оптимистичная цифра, так как антенны средства РТР должны иметь широкий диапазон частот, а это сказывается на коэффициенте усиления антенны. Надо отметить, что мы используем относительные цифры в оценке коэффициентов усиления АФАР БПЛА и АФАР РТР противника, чтобы чувствительности приёмников при расчёте имели относительную величину по отношению друг к другу и не сказывались на оценке помехозащищённости. Кроме того, мы также предполагаем возможность установки АФАР РТР на БПЛА, и в этом случае из-за ограничения по габаритам коэффициент усиления антенны РТР будет значительно меньше с разделением по диапазонам частот. Далее считаем отношение сигнал/шум в приёмнике радио-модуля равным $q=27$ (вероятность ошибки 10^{-6} - 10^{-7}). Здесь также k – это постоянная Больцмана, а $T_{ш} = 600^\circ\text{K}$ – шумовая температура. Отсюда вычислим необходимую полосу пропускания в приёмнике РТР противника для обнаружения сигнала БПЛА по формуле:

$$\begin{aligned}
 F_{прми} &= P_{ц} \times G_{цбл} \times G_{ртр} \times \lambda_{ц}^2 / [(4 \times \pi)^2 \times q \times k \times T_{ш} \times D_{ртрц}^2] = \\
 &= 0,04 \times 3,54 \times 446,7 \times (0,1263)^2 / [(4 \times \pi)^2 \times 27 \times 1,38 \times 10^{-23} \times 600 \times \\
 &\quad (40 \times 10^3)^2] = 20,868 \text{ МГц.}
 \end{aligned}
 \tag{2}$$

Это означает, что наземное мобильное средство РТР противника на такой дальности и при

такой мощности нашего сигнала не способна по одному импульсу при скорости передачи в

41 Мбит/сек определить наличие сигнала и требуется накопление в 2 импульса. Поэтому, чтобы выделить символ в 41 Мбит/сек требуется приближать наземное мобильное средство РТР на дальность до линии соприкосновения до 8 км, что обеспечивает поражение средствами артиллерии. Собственно, в современных системах РТР определение наличия сигнала происходит в автоматическом режиме, и поэтому даже при обнаружении короткого одиночного импульса при полосе пропускания средства РТР, например, в 50 МГц, он будет воспринят как скачок шумового сигнала, если не происходит его устойчивого повторения. Действительно, если по каждому одиночному импульсу выставлять сигналы помехи, то БПЛА может использовать вначале импульсную перестройку частоты в целях введения в заблуждения (такой вариант сигналов для абонентов будет показан несколько ниже), и тогда весь помеховый сигнал будет «размазан» по всему

возможному спектру частот. Однако для определения повторения необходимо сужение полосы пропускания. Повторение сигнала на одной несущей частоте, при приёме информации связано с необходимостью подстройки по частоте Доплера для когерентной обработки. Понятно, что в этом случае, например, при использовании кода Манчестер в сигнале от БПЛА выделение огибающей при полосе в 20 МГц с помощью диода в приёмнике РТР противника также не даст превышения над порогом чувствительности из-за компенсации по фазе. Реализовать обнаружение такого сигнала от БПЛА можно только за счёт сброса сигнала на нулевую промежуточную частоту, с использованием метода обнаружения предложенного в [7] по рисунку 5, но при этом необходимо разбить одну АФАР на две подАФАР, что даёт снижение чувствительности в 2 раза из-за снижения коэффициента усиления антенн по отдельности.

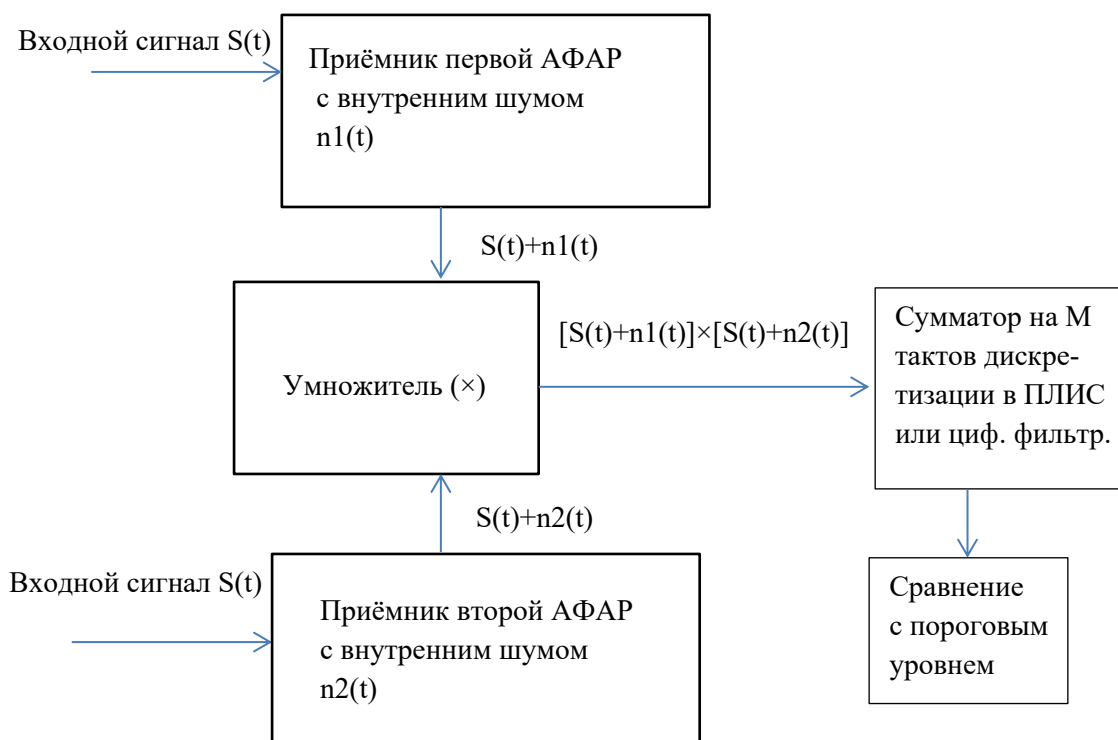


Рис. 5. Упрощённая функциональная схема выделения сигнала средствами РТР противника

В этом случае обнаружение будет проводиться при накоплении 4 импульсов с целью компенсации потерь от уменьшения коэффициента усиления антенн, при исключении фазы и отличий по частоте за счёт сложения значений по каналу синуса и косинуса с полосой в цифровом фильтре 10,4 МГц. Понятно, что можно поднять коэффициент усиления антенны средства РТР в 4 раза, но при этом размеры антенны будут достигать 1,12 м × 1,12 м,

а это, с учётом мобильного средства передвижения, есть цель с достаточно большой эффективной поверхностью рассеяния (ЭПР) на фоне Земли. Такие объекты легко обнаруживаются с помощью ЛА, имеющих АФАР с функцией РЛС. Понятно, что скрытность сигнала от АФАР БПЛА можно повысить ещё больше, уменьшив мощность излучения сигнала вызова, например, до 0,01 Вт, что можно добиться, например, за счёт деления общей АФАР БПЛА на

несколько подАФАР, что также будет показано ниже. Это естественно исключает определение сигнала вызова от БПЛА по одному или нескольким импульсам даже при использовании метода по рисунку 5. Однако нам важно, чтобы наш сигнал вызова был также принят абонентом.

Поэтому, определим приём радиосигнала абонентом на расстоянии $D_{\text{и}}=20$ км от БПЛА при излучении сигнала мощностью $P_{\text{бпла}}=0,04$ Вт и коэффициенте усиления антенны абонента как в системе связи для мобильных устройств «Iridium» $G_a=0,5$ (-3 дБ). При этом будем считать, что передача информации

$$F_{\text{прми}} = P_{\text{бпла}} \times G_a \times G_{\text{бпла}} \times \lambda_{\text{и}}^2 / [(4 \times \pi)^2 \times q \times k \times T_{\text{ш}} \times D_{\text{и}}^2] =$$

$$= 0,04 \times 0,5 \times 223,341 \times (0,1363)^2 / [(4 \times \pi)^2 \times 27 \times 1,38 \times 10^{-23} \times 600 \times (20 \times 10^3)^2] = 5,87 \text{ МГц.} \quad (3)$$

Это означает, что необходимо накопление 7 бит при скорости передачи в 41 Мбит/сек. Отсюда получается, что средство РТР противника, при попадании БПЛА в луч антенны РТР противника, обнаружит сигнал вызова от БПЛА при непрерывной длительности в 0,17 мксек (полоса 5,87 МГц) раньше, чем этот сигнал вызова будет обнаружен абонентом. Для того, чтобы избежать обнаружение средством РТР

осуществляется символами, со скоростью передачи 41 Мбит/сек, и соответственно имеется накопление по коду при несущей частоте 2,4 ГГц ($\lambda_{\text{и}}=0,1363$ м). Коэффициент усиления антенны БПЛА в сочетании с наличием 2-х патч в одном радио-модуле из шестнадцати считаем равным $G_{\text{бпла}}=223,341$ (23,5 дБ). При этом отношение сигнал/шум в приёмнике радио-модуля выбирается равным величине $q=27$ (вероятность ошибки 10^{-6} - 10^{-7}). Здесь также k – это постоянная Больцмана, а $T_{\text{ш}}=600^\circ\text{K}$ – шумовая температура. Отсюда вычислим необходимую полосу пропускания в радио-модуле по формуле:

противника сигнала вызова от БПЛА необходимо использовать разбиение сигнала вызова во времени на коды длительностью, например, в 2 бит с использованием кода Манчестера со скважностью $Q=2$ и более с накоплением сигнала по коду, например Баркера, для исключения захвата по боковому лепестку корреляционной функции, по рисунку 6.

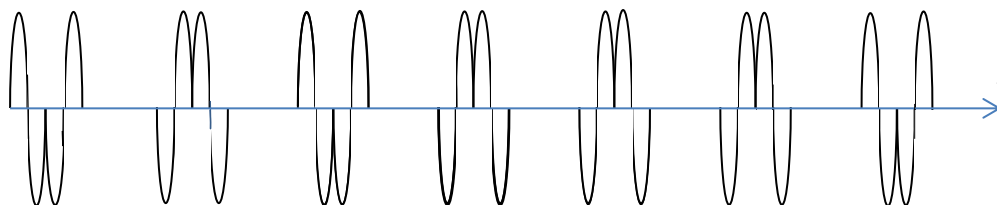


Рис. 6. Использование кода Манчестера в сочетании с кодом Баркера на 7 бит и скважностью $Q=2$

Это естественно увеличит время, требуемое на накопление при вызове в 4 раза, но может исключить обнаружение сигналов вызовов средствами РТР противника на дальности между БПЛА и РТР в 40 км. При этом при накоплении эквивалентная полоса пропускания для сигнала равняется 2,93 МГц (0,341 мксек с учётом кода Манчестера, но без учёта скважности, так как пропуски игнорируются при накоплении). Поэтому мы из расчёта эквивалентной полосы пропускания исключаем скважность $Q=2$. Однако при скважности увеличивается длительность кода ещё в 2 раза до 0,682 мксек (1,47 МГц), хотя в эти промежутки времени сигнала нет, а значит, нет и накопления. Преимущество в том, что наличие скважности

ухудшает характеристики отношения сигнал/шум в средстве РТР противника, так как ему неизвестна используемая скважность и в фильтре будет происходить накопление шумов в $Q^{1/2}$ наряду с накоплением сигнала. Кроме того, если в РТР противника используются цифровые фильтры с полосой в 10,4 МГц, то накопленный сигнал при 4 импульсах при скважности более двух упадёт до нуля. Отсюда потребуется использовать для РТР цифровые фильтры в 1,47 МГц с учётом скважности, однако, если считать полосу пропускания антенны РТР в 200 МГц [8], то при параллельной автоматической цифровой обработке потребуется 136 ПЛИС, а это требует большого энергопотребления и увеличивает массогабаритные

характеристики. Ситуация для РТР противника будет хуже, если при вызове абонента используется скважность $Q=10$, с соответствующим накоплением в приёмнике абонента в течение времени в 3,41 мксек. В этом случае число ПЛИС, обеспечивающих цифровую фильтрацию, увеличивается до 680 при параллельной обработке с полосой пропускания 0,293 МГц. А это уже исключает использование такого средства РТР на БПЛА, и для обработки в лучшем случае надо использовать режим ретрансляции сигнала с АФАР БПЛА противника на наземное средство РТР противника, где возможно использование такого количества фильтров. Соответственно о мгновенной помехе не может быть и речи. Можно конечно для РТР использовать сочетание параллельного обнаружения с последовательным во времени обнаружением, однако параметры сигнала вызова могут меняться в зависимости от времени по заранее определённой программе и ситуации на театре военных действий (ТВД). В этом случае при изменении во времени, например, частоты сигнала устройство РТР может не идентифицировать этот сигнал как с того же самого БПЛА. А это приведёт к пропуску сигнала вызова от БПЛА средствами РТР противника, так как используется автоматический режим. Надо отметить, что при применении противником импульсных помех используется узконаправленный луч антенны, и это требует от средства РТР противника точное местоположение БПЛА связи, что также связано с временем разведки на угловое местоположение, которое также ограничено из-за перестройки параметров сигналов связи.

Соответственно сигнал вызова или ответа от абонента к БПЛА должен также придерживаться таких же параметров, так как мы учитываем, что для устройства РТР противника в качестве мобильного средства передвижения может также использоваться БПЛА, но соответственно с учётом литерного разделения по диапазонам частот. Таким образом, мы приходим к выводу, что использование в сигналах вызова и ответа скважности как в системах РЛС и кода Манчестера играет очень важную роль для обеспечения скрытности сигнала. Надо отметить, что скважность также применяется в протоколах связи в космических системах типа «Iridium» и «Globalstar» путём разделения на слоты в кадре по рисунку 1, но здесь идёт приём информации в каждом слоте непрерывно. Поэтому отличие в том, что мы

используем разделение информации на биты с использованием кода Манчестера и скважностью между битами информации, а не в виде скважности за счёт слотов абонентов в режиме непрерывной информации. Такой вариант стал возможен благодаря тому, что энергетический потенциал для связи с помощью БПЛА из-за уменьшения дальности значительно выше. Как будет показано ниже, скважность необходима и для обеспечения согласования времени излучения от разных абонентов, которые находятся на разной дальности от БПЛА. Скважность позволяет также уменьшить воздействие импульсных помех короткой длительности.

Теперь определим, как влияет частота Доплера на обеспечение сокращения времени вызова с учётом кода. Пусть скорость БПЛА составляет 250 км/час ($V_{\text{бпла}}=69,45$ м/сек), несущая частота сигнала от БПЛА $f=2,4$ ГГц, отсюда вычислим доплеровскую частоту F_d по формуле:

$$F_d = 2 \times V_{\text{бпла}} \times f / c = 2 \times 69,45 \times 2,4 \times 10^9 / (3 \times 10^8) = 0,89 \text{ кГц.} \quad (4)$$

Это означает, что период изменения частоты Доплера составляет 1,12 мксек. Если длительность всего сигнала вызова будет составлять от 3,4 мксек до 100 мксек, то частота Доплера не будет влиять на накопление сигнала по коду.

Так как по формуле (3) кодовый сигнал вызова с накоплением для обнаружения составляет при дальности в 20 км от БПЛА до абонента 7 бит (0,17 мксек), то будем считать, что в целях скрытности мы используем скважность равную 3 через каждые 2 бита (код Манчестера). При этом сам код вызова будут определяться через 128 символов информации (аналог кодирования в системе связи «Globalstar»). Отсюда общая длина кода составит $128 \text{ бит} \times 2 (\text{код Манчестера}) \times 3 (\text{скважность}) = 768$. Такая длина кода находится в промежутке между длиной кода ГЛОНАСС в 512 бит и длиной кода GPS в 1024 бита. Этот код вызова может меняться в зависимости от времени, а также и по частоте и скважности внутри кода. Причём необходимая информация об изменениях может поступать в конце сеанса связи с каждым абонентом. Здесь мы учитываем специфику работы на ТВД, где связь с абонентами происходит довольно часто и требуется обеспечить высокую помехозащищённость. В итоге общая длительность кода вызова составляет $1 / (41 \text{ МГц}) \times 768 \text{ бит} = 18,732 \text{ мксек}$. Соответственно общее время поиска по коду вызова с получением символьной синхронизации составит $18,732 \text{ мксек} \times 768 \text{ бит} \times 2 = 28,77 \text{ мксек}$.

Здесь мы учитываем, что символьная подстройка будет осуществляться в ПЛИС со сдвигом во времени только на половину одного бита, а не на бит. Таким образом, подстройка по символам и частоте по сигналу вызова произойдёт через 28,77 мсек. Если сравнивать с форматом кадра «Iridium» по рисунку 1, то это меньше 4-х слотов на передачу $4 \times 8,28 = 33,12$ мсек и чуть больше времени отводимого для преамбулы Simplex (20,32 мсек). То есть, на поиск и обнаружение требуется время на преамбулу Simplex и один слот. Можно отметить, что время на код составляет 18,732 мсек, это меньше, чем время в 100 мсек, что обеспечивает накопление кода без разрушения его от частоты Доплера из-за смены фазы. Однако, если первоначально использовать подстройку по частоте Доплера перед символьной синхронизацией по коду (у нас время на подстройку по частоте Доплера порядка 100 мсек [1]), то длительность вызова с увеличением скважности можно увеличить, что сделает невозможным обнаружение сигнала вызова. Конечно, это связано с увеличением времени вызова, но так как мы определили время вызовов с интервалом в 2,1 секунды, то на вызов и ответ можно использовать кадр длительностью в 90 мсек (по 45 мсек), что конечно уменьшит поток информации при связи только в 0,1 раз. Ситуация для вызовов и ответов в момент поиска и обнаружения улучшится, если использовать режим дуплекса, когда запросные и ответные сигналы проходят по каналу промежуточной частоты, где длительность кода на приём и ответ может быть существенно увеличена. Информация для связи передаётся уже на высокой несущей частоте с направленной антенной, по данным от канала на промежуточной частоте с всенаправленной антенной.

Надо отметить, что мы рассмотрели вариант вызова и ответа, когда луч АФАР БПЛА направлен в сторону абонента. Однако луч АФАР имеет сектор углового обзора. Исходя из [10] коэффициент усиления антенны может быть вычислен по формуле:

$$G = 35500 / (\alpha_{аз} \times \beta_{ум}). \quad (5)$$

Подставив значение $G = G_{АФАР} = 223,341$ в формулу (4) с учётом того, что у нас длина антенны в 2 раза больше, чем ширина по рисунку 2 (56 см $\times$ 28 см) имеем сектор углового обзора луча $\alpha_{аз} = 8,9^\circ$, $\beta_{ум} = 17,8^\circ$. Далее будем считать, что на дальности в 20 км от БПЛА до абонента сектор обзора должен соответствовать длине в 20 км по линии соприкосновения. Это

соответствует сектору обзора по азимуту ± 30 градусов. В этом случае мы должны иметь 6,74 положений луча АФАР по азимуту. Таким образом, всё время необходимое для вызова составит $6,74 \times 28,77$ мсек = 193,91 мсек. Это конечно уже значительно уменьшит время для передачи информации. Поэтому в режиме вызова и ответа на вызов при такой длительности кода в 128 бит желательно использовать многолучевой режим с использованием подАФАР, как это будет показано несколько ниже. Возможен также вариант сокращения длительности кода вызова со 128 бит до 7-24 бит с учётом формулы (3). Будем предполагать, что 12 бит это позывной код БПЛА (для идентификации реально можно обойтись и 3 битами), а ещё 12 бит (при обслуживании 2500 абонентов), это код вызываемого пользователя. Отсюда общая длина кода при 24 бит составит $24 \text{ бита} \times 2$ (код Манчестера) $\times 3$ (скважность) = 144. В итоге общая длительность кода вызова составляет $1 / (41 \text{ МГц}) \times 144 \text{ бит} = 3,51$ мсек. Общее время поиска по коду вызова с получением символьной синхронизации составит время $3,51 \text{ мсек} \times 144 \text{ бит} \times 2 = 1011,51$ мсек. Таким образом, всё время необходимое для вызова составит $6,74 \times 1,0115$ мсек = 6,817 мсек. То есть, при упрощённом коде вызова мы имеем сокращение времени. Отметим, что один слот для «Iridium» по рисунку 1 соответствует временному интервалу в 8,28 мсек. Следовательно, если исходить из формата «Iridium» для слота информации мы имеем на передачу дополнительной информации в режиме вызова в $(8,28 \text{ мсек} - 6,817 \text{ мсек}) / 3,51 \text{ мсек} = 416$ бит. Соответственно, если использовать запрос от БПЛА и ответ на запрос от абонента через 90 мсек (а не через 2,1 сек), то при скорости в 250 км/ч, через секунду, БПЛА переместится только на $69,45 \text{ м/сек} \times 0,09 \text{ сек} = 6,25 \text{ м}$. С учётом того, что при символьной синхронизации используется символ в $1 / (41 \text{ МГц}) = 0,024$ нсек, то при скорости света - это время распространения сигнала на 7,31 м. Это означает, что нарушения в символьной синхронизации, между абонентом и БПЛА в зависимости от скорости не произойдёт. Если для первоначального запроса и ответа использовать промежуток времени преамбулы Simplex, то время на дополнительную информацию будет ещё больше $(20,32 \text{ мсек} / 2 - 6,817 \text{ мсек}) / 3,51 \text{ мсек} = 952$ бит, что позволяет использовать дополнительное кодирование информации. При необходимости промежуток времени «Simplex» на следующем цикле после

поиска и обнаружения вызова и ответа можно использовать также для передачи дополнительной служебной информации для абонентов. Отсюда посчитаем, какое количество пользователей может обслужить АФАР БПЛА при передаче информации одновременно. При этом будем исходить из того, что, так как подстройка по частоте и по коду осуществлена, то главным условием становится передать как можно больше информации за короткий срок в течение одного слота при обслуживании как можно большего количества абонентов. Чтобы передать как можно больше информации за один слот нам необходимо задействовать максимальную скорость передачи в 41 Мбит/сек

при соответствующей мощности передатчика АФАР. Если исходить из формулы (3) то на дальности до абонента в 20 км при полосе пропускания в 60 МГц нам необходимо обеспечить общую мощность передатчика АФАР БПЛА в 0,4 Вт. Это в 10 раз больше, чем было в режиме вызова. Это естественно снижает помехозащищённость и из этого следует, что для исключения повышения мощности необходимо увеличивать коэффициент усиления антенны пользователя, то есть, абонент также должен иметь антенну из патч направленного действия, например, из 2-х патч, как это есть в предлагаемом радио-модуле по рисунку 7.

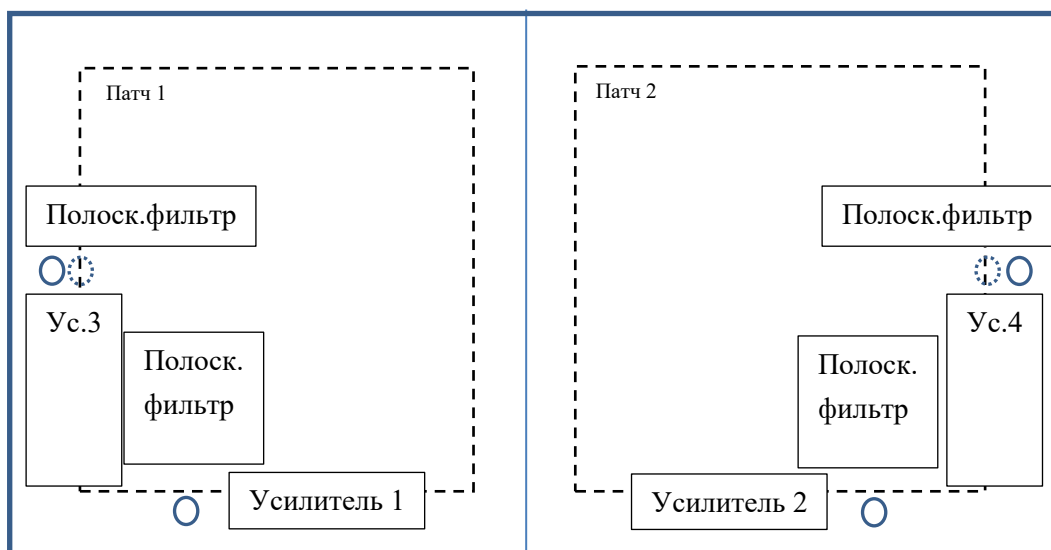


Рис. 7. Предлагаемый радио-модуль с расположением элементов патч и усилителей с учётом согласования за счёт полосковых фильтров, расположенных на многослойной плате антенны

При этом конструкция радио-модуля показана на рисунке 8.

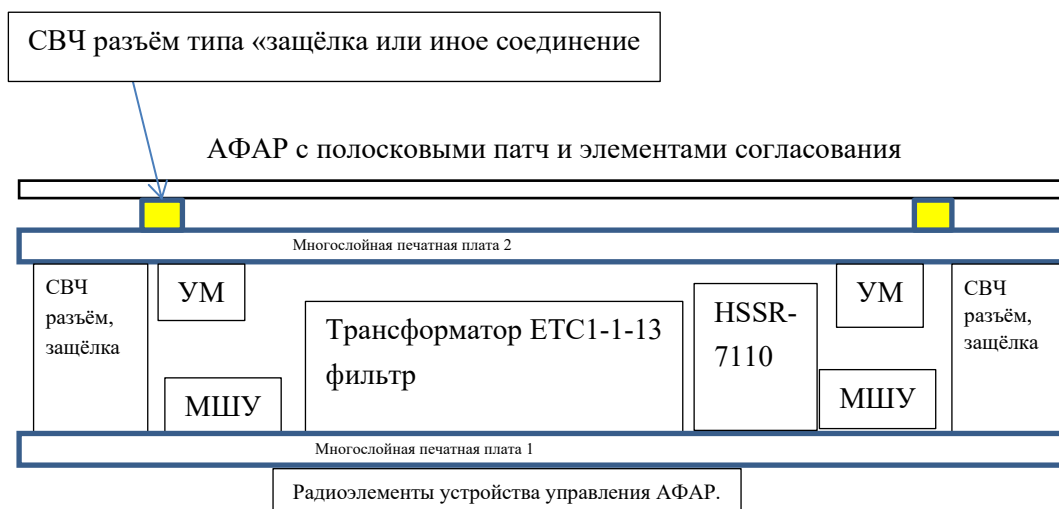


Рис. 8. Конструкция с боку радио-модуля

Вид многослойной печатной платы № 1 радио-модуля показан на рисунке 9.

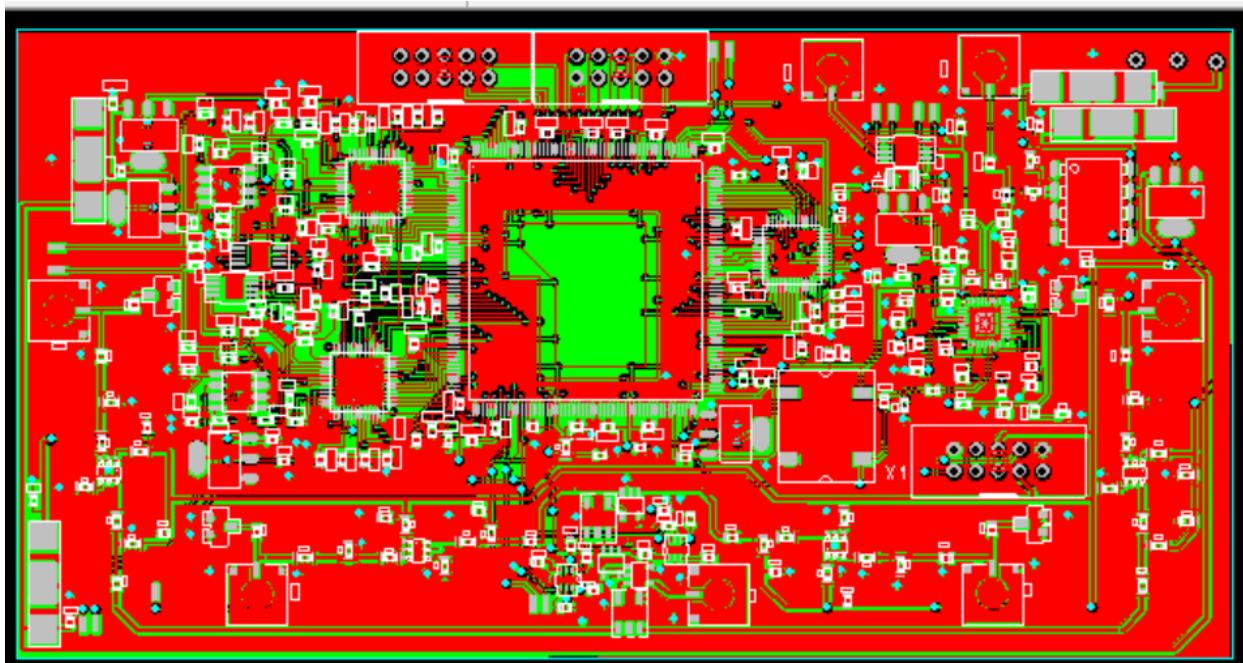


Рис. 9. Вид многослойной печатной платы № 1

Вид многослойной печатной платы № 2 радио-модуля показан на рисунке 10.

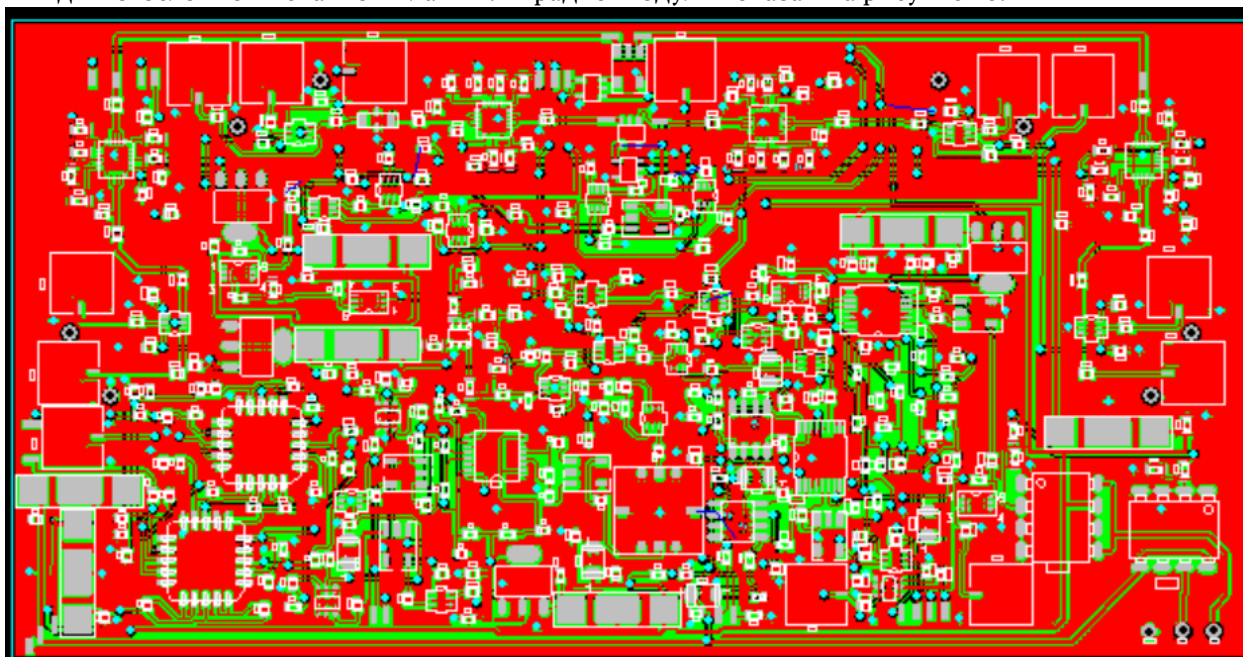


Рис. 10. Вид многослойной печатной платы № 2

В этом случае по сравнению с вариантом антенны [8] коэффициент усиления может достигать 11,5 дБ (14,1 раз). При этом априорное направление антенны соответственно должно быть в сторону БПЛА и при вертикальном расположении радио-модуля сектор обзора его антенной составит необходимые ± 30 градусов, что даёт видимость 20 км по линии соприкосновения, также как для сектора обзора БПЛА. Соответственно в этом случае приём сигнала средством РТР противника будет не по первому боковому лепестку, а по заднему, который

имеет коэффициент усиления не в 18 дБ меньше, а в 40 дБ меньше, как это видно из рисунка 4. В этом случае по формуле (3) при подстановке вместо $G_a=0,5$ значения $G_a=14,1$ мы получим возможную полосу пропускания для связи между абонентом и БПЛА в 165 МГц. Если использовать режим QAM, то снижается чувствительность в 4 раза, но мы получим возможность передачи сигнала, например, в 41 Мбит/сек $\times 3=123$ Мбит/сек. При этом мощность излучения от БПЛА, и обратно от абонента, останется на уровне 0,04 Вт. Это собственно

соизмеримо с передачей информации в режиме Интернет для таких космических систем связи как «Starlink». Кроме того, при подключении к нашему устройству оптико-электронного

устройства мы обеспечиваем уровень сложности при цифровом изображении MISM-L10M в соответствии таблицей.

Таблица

Стандарты по скорости передачи информации от БПЛА при высоком разрешении оптико-электронного изображения									
Уровень сложности	Применимый стандарт (не включает другие варианты)	Разрешение по горизонтали, пикселей	Разрешение по вертикали, пикселей	Глубина пикселей, бит	Частота кадров, Гц	Коэффициент сжатия	Номинальная скорость канала передачи данных, Мбит/с	Диапазон скоростей передачи данных, Мбит/с	Возможная среда передачи (при номинальной скорости)
MISM-L11	SMPTE 296M-2001, Progressive modes of SMPTE 274M, 295M, 292M	1280–1920	720p–1080p	8 или 10	24–60	0	1485	360–2400	SMPTE 292M, OC-48
MISM-L10M	SMPTE 296M-2001, Progressive modes of SMPTE 274M, 295M MPEG-2 MP@HL	1280–1920	720p–1080p	8	24–60	10:1	80	34–100	SDI, E3, T3, OC-12
MISM-L10H	SMPTE 296M-2001, Progressive modes of SMPTE 274M, 295M H.264 MP@L4.1(8b) H.264 HP@L4.1(8b) H.264 Hi10P@L4.1(10b)	1280–1920	720p–1080p	8 или 10	24–60	20:1	40	17–50	T3
MISM-L9M	SMPTE 296M-2001, Progressive modes of SMPTE 274M, 295M MPEG-2 MP@HL	1280–1920	720p–1080p	8	24–60	45:1	19,4	10–44,7	TCDL, Half to Full T3, ATM
MISM-L9H	SMPTE 296M-2001, Progressive modes of SMPTE 274M, 295M H.264MP@L3.2(720) H.264 MP@L4.0 H.264 HP@L4.0	1280–1920	720p–1080p	8	24–60	80:1	10	5–20	TCDL

Надо отметить, что в предлагаемом радио-модуле предусмотрена возможность изменения поляризации во времени (вертикальная, горизонтальная, круговая поляризация, как левая, так и правая), что позволяет ещё больше повысить скрытность от средств РТР противника, и уменьшает влияние помех. Иными словами, переход на предлагаемые радио-модули позволяет качественно изменить информацию о происходящих событиях на ТВД не только посредством радиосвязи, но и визуального оптико-электронного наблюдения.

Что касается радиосвязи в режиме ТЛФ, то далее будем исходить из того, что в течение 90 мсек мы должны обеспечить в одном слоте

для одного абонента на передачу 414 бит как в «Iridium». При скорости передачи в 41 Мбит/сек мы обеспечим такую передачу в 414 бит за 10,1 мсек. Здесь, мы не рассматриваем вариант возможного применения сигнала QAM, который в три раза может повысить скорость передачи (до 13,8 кбит/сек) при увеличении мощности в 4 раза. Напомним, что для «Globalstar» скорость передачи информации в многопользовательском режиме 9,6 кбит/сек. Соответственно, если исходить из скрытности обнаружения и давать биты информации при коде Манчестера со скважностью 10, то на одного пользователя будет приходиться 202 мсек по рисунку 11.

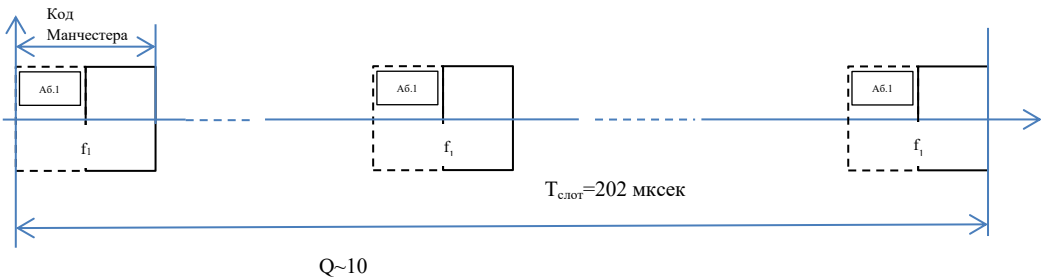


Рис. 11. Временная диаграмма для одного абонента при скорости передачи в 4,6 кбит/сек с использованием кода Манчестера и скважности порядка 10 для помехоустойчивости

Таким образом, в одном слоте за 8,28 мсек можно уместить последовательно 40 пользователей. Одновременно осуществляется коррекция по частоте Доплера с помощью ФАПЧ. С учётом четырёх слотов на передачу мы получим общее количество обслуживаемых пользователей одновременно в 160 абонентов. Соответственно мы можем передавать сообщения

для каждого абонента не со скважностью 10, а со скважностью порядка 100 растянув всё время приёма для каждого пользователя до 2 мсек, чередуя через 202 мсек передачу битов информации для каждого из 10 пользователей по рисунку 12, что фактически равносильно кодированию.

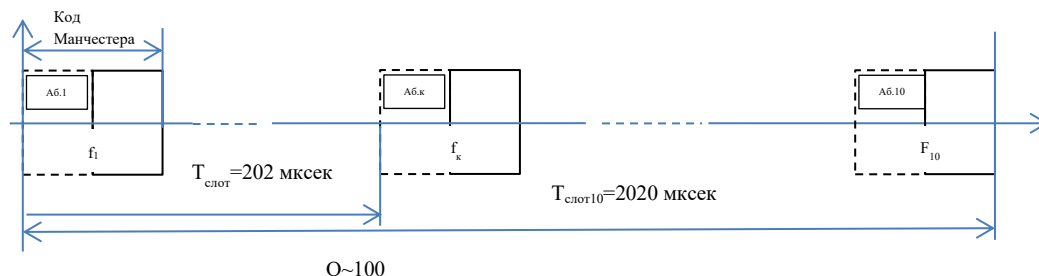
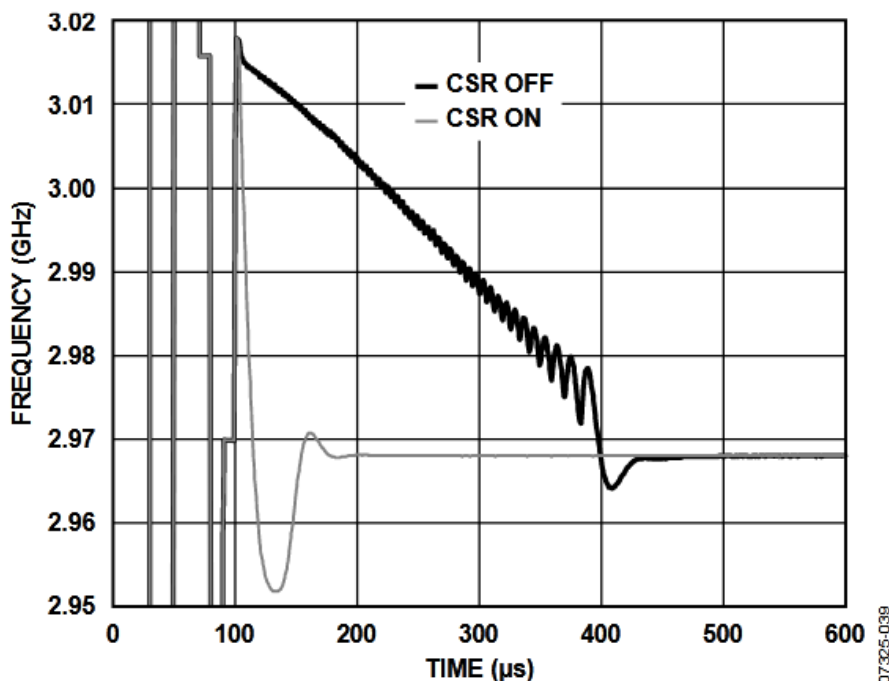


Рис. 12. Временная диаграмма на 10 абонентов с длительностью слота для каждого абонента в 2020 мсек и скважностью повторения сигнала порядка $Q=100$ с использованием разделения по частоте

Это заставляет средство РЭБ «размазывать» сигнал помехи по всему возможному спектру частот. Следует отметить, что использование скважности позволяет экономить среднюю энергию на передачу и не позволяет средству РТР противника иметь устойчивое превышение сигнала над порогом чувствительности. Напомним, что такой способ стал возможен благодаря тому, что дальность от пользователя до БПЛА значительно меньше, чем дальность

от КА до абонента. Так как самый эффективный способ, исключая обнаружение и постановку помехи это переключение несущей частоты, то оценим возможности перестройки для каждого пользователя в АФАР БПЛА. Отметим, что для изменения частоты на 100 МГц, например, от 3070 МГц до 2970 МГц в синтезаторе частоты ADF4350 в лучшем случае требуется время в 450 мсек по рисунку 13.



Lock Time for 100 MHz Jump from 3070 MHz to 2970 MHz with CSR On and Off, PFD = 25 MHz, $I_{CP} = 313 \mu A$, Loop Filter Bandwidth = 20 kHz

Рис. 13. Перестройка частоты в синтезаторе ADF4350

Если при работе радио-модуля в качестве мобильного устройства связи это вполне допустимо, так как частота неизменна в течение 2020 мксек, а между приёмом и передачей может быть интервал также не менее 2 мксек (исходя из наличия 4-х слотов), то для режима передачи при использовании однолучевого АФАР БПЛА в качестве общего средства связи это недопустимо, так как мы должны изменять несущую частоту за 202 мксек, если мы используем режим поочерёдной последовательной передачи битов информации для каждого пользователя из десяти со скважностью 100. Поэтому, чтобы обеспечить скрытность мы можем использовать в каждом слоте до 16 несущих частот с учётом того, что у нас в АФАР есть 16 радио-модулей и в каждом из них есть синтезатор частоты, например, ADF4350. Время переключения ключа, например, RF3024 составляет 40 нсек. Понятно, что при полосе пропускания АФАР БПЛА в 200 МГц мы имеем различие по частотам $200 \text{ МГц} / 16 = 12,5 \text{ МГц}$. В соответствии с этим мы можем либо увеличить количество пользователей за счёт параллельного излучения, либо уменьшить скважность за счёт обеспечения помехоустойчивости из-за смены несущей частоты с указанием такого режима в преамбуле «Simplex». Понятно, что при рассмотрении режима скрытности для средств РТР мы не учитывали ещё тот факт, что луч АФАР РТР также обязан осуществлять поиск в соответствующем угловом секторе. Здесь попадание средства РТР противника на луч АФАР БПЛА будет ещё меньше, так как передача сменяется на приём со скважностью $Q=2$ через 8,28 мксек, и от этого вероятность обнаружения уменьшается за счёт количества угловых положений луча АФАР РТР.

Кроме того, время, в течение которого нет передачи от АФАР, благодаря скважности, может быть использовано для ответа от абонентов. Предположим, что абоненты по дальности в максимальном случае отличаются на 10 км по глубине фронта от линии соприкосновения. В этом случае задержка по ответу по дальности составит при сигнале туда и обратно порядка 20 км, а по времени это 66,6 мксек. Иными словами, у нас есть время после передачи принять сообщение как минимум от одного или нескольких абонентов по такому же принципу, как и при передаче по рисунку 10 с той же скважностью порядка 100. А это означает, что

мы в одном слоте можем объединить слоты на приём и передачу, что увеличит количество пользователей одновременно до 80, а при четырёх слотах до 320. Понятно, что данные о местоположении абонентов и БПЛА позволяют достаточно точно выставлять синхронизацию сигналов по времени и тогда задержки во времени будут учтены без наличия пропусков по времени или будут значительно меньше. Для сравнения отметим, что в КА «Iridium» используется 6 АФАР в режиме кругового обзора, причём одна АФАР способна одновременно обслужить $8 \text{ лучей} \times 4 \text{ абонента (последовательно)} \times 6 \text{ абонентов (параллельно)} = 192 \text{ пользователя}$. Так как у нас есть запас по мощности, то мы также можем использовать (как это будет показано несколько ниже) при передаче многочастотный режим с делением мощности между пользователями и разделением по частоте. Ещё раз отметим, что у нас в АФАР 16 радио-модулей и с учётом энергетического потенциала может применяться многолучевой режим, как это будет показано несколько ниже. В каждом радио-модуле свой синтезатор частоты, и количество сигналов в многочастотном режиме может доходить до 16 по количеству лучей и понятно, что в этом случае время излучения от БПЛА может подбираться индивидуально, что сокращает интервалы между слотами. Для сравнения в системе связи «Globalstar» используется 13 частот одновременно.

При приёме сигналов на БПЛА от абонентов мы также можем использовать помимо последовательного режима во времени и параллельный режим приёма, что достаточно выгодно при условии того, что каждый абонент имеет в своём радио-модуле до 4-х усилителей мощности. Это может обеспечить излучение по мощности в 4 Вт и более, с обеспечением принятия сигналов со скоростью, например, 41 Мбит/сек. Понятно, что средства РТР могут обнаружить абонента по такому мощному сигналу и навести на источник излучения квадрокоптер, или накрыть артиллерийским снарядом. Однако в силу того, что у нас есть режим дуплекса, то пользователь не обязательно должен находиться там, где установлен мобильный радио-модуль. Это исключает поражение абонента, так как связь может вестись в режиме ретрансляции по промежуточной частоте от другого радио-модуля.

Если идёт многочастотная передача от АФАР БПЛА, то наличие 4-х усилителей мощности в каждом радио-модуле позволяет достигать необходимой мощности, и не входить в нелинейный режим работы усилителя с искажением сигналов при многочастотном режиме. При этом не требуется повышение отношения сигнал/шум за счёт соответствующего удлинения времени приёма с накоплением.

При расположении радио-модулей как показано на рисунке 14, мы можем одновременно иметь до 8 подАФАР с управлением луча по азимуту, что исключает в режиме вызова обзор на 7 положений и это позволяет увеличить код вызова с 24 бит до 64 бит при времени поиска и обнаружения до символьной синхронизации за 7,193 мсек. Это естественно повышает

помехозащищённость и фактически сравнивается с кодом в 128 бит, который используется в «Globalstar», если учесть, что у нас один бит информации равен коду Манчестера. Надо отметить, что использование кода Манчестера с переменной скважностью может значительно уменьшить уровень боковых лепестков корреляционной функции, что повышает достоверность обнаружения сигнала при поиске. Иными словами предлагаемый протокол связи обладает лучшей помехозащищённостью и достоверностью при обнаружении сигнала.

Соответственно управление лучом по углу места при 8-ми лучах АФАР не требуется, так как сектор обзора по углу места составляет 34 градуса, что на дальности БПЛА от абонента в 20 км даст обзор по высоте в 10 км.

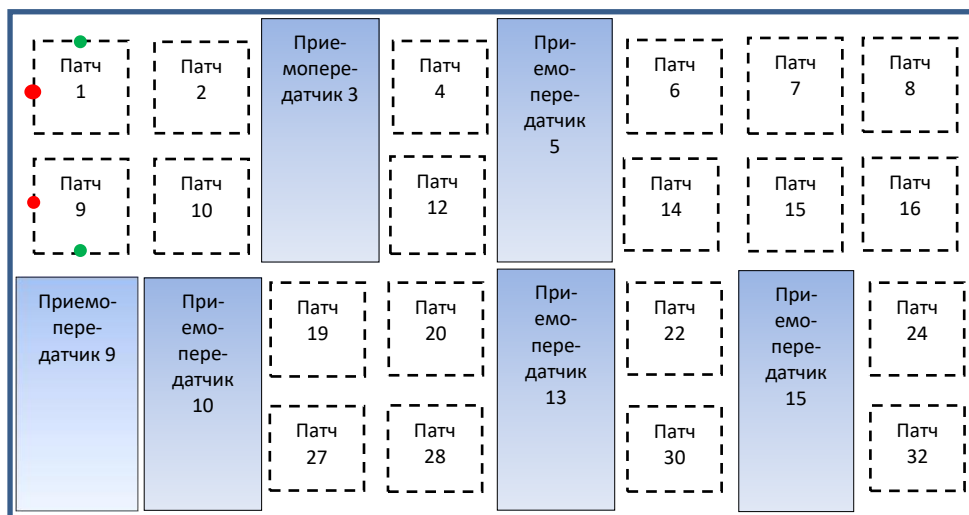


Рис. 14. Расположение радио-модулей для режима вызова с исключением обзора на 7 положений луча

Ещё раз отметим, что такой режим возможен благодаря тому, что в каждом из 16 радио-модулей у нас на многослойной плате 1 по рисунку 8 находится синтезатор частоты типа ADF4350. При этом один синтезатор частоты в подАФАР состоящей из двух ради-модулей используется при передаче сигнала, а другой синтезатор при приёме сигнала, в режиме дуплекс, как это будет показано ниже.

Разберём сам принцип работы АФАР БПЛА в многолучевом режиме. При этом будем исходить от работы отдельного радио-модуля по функциональной схеме на рисунке 15, с учётом того, что предлагаемый радио-модуль также имеет диаграмму направленности и может использоваться как подАФАР. То есть, 16 радио-модулей образуют 16 подАФАР, и могут работать самостоятельно в системе связи с обслуживанием абонентов.

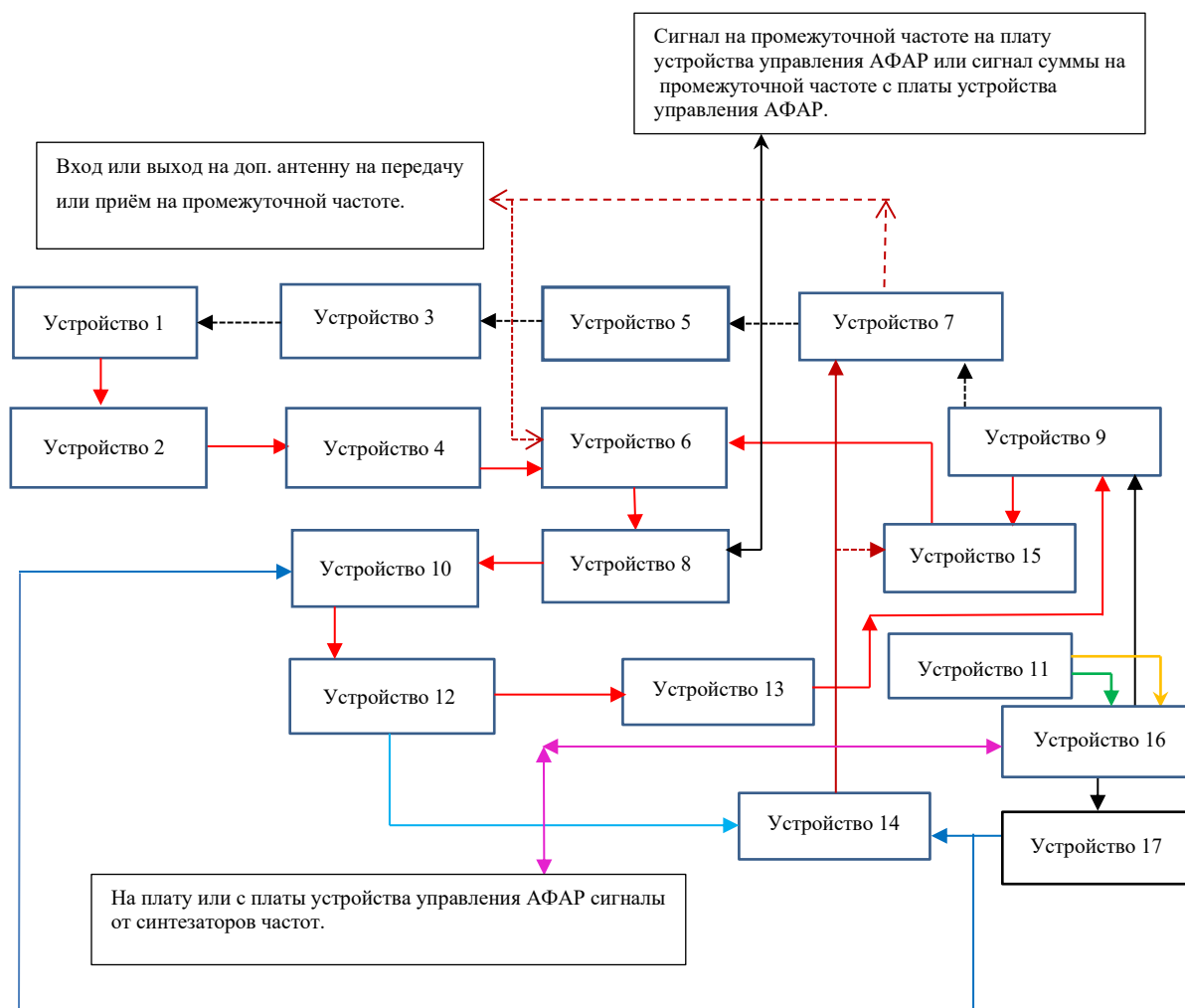


Рис. 15. Функциональная схема предлагаемого радио-модуля

Радио-модуль состоит из следующих устройств. Устройство 1 представляет собой патч-антенны с наличием согласующих элементов по коэффициенту стоячей волны (КСВ) и полосковых линий для достижения оптимальной круговой поляризации на соответствующих слоях многослойной печатной платы АФАР. Понятно, что альтернативы патч-антеннам в диапазоне от 250 МГц до 6 ГГц нет в силу обеспечения наибольшей ЭПР [7], и вопрос лишь касается обеспечения такого конструктивного решения на патч, которое позволяло бы обеспечить все виды поляризаций для повышения помехозащищённости с минимальными энергетическими потерями и наибольшей чувствительностью. Это достигается за счёт элементов согласования в многослойной печатной плате АФАР, выбора диэлектрика и симметричного расположения усилителей мощности (УМ), а также малошумящих усилителей (МШУ) так, как показано на рисунке 7, причём, чтобы нагрев УМ не влиял на МШУ эти усилители разнесены на платы № 2 (рис.10) и 1

(Рис.9), как показано на рисунке 8 с видом сбоку. Сигнал с патч-антенн поступает на устройство 2, которое состоит из 4-х малошумящих усилителей (МШУ), расположенных соответствующим образом на многослойной печатной плате № 1 по рисунку 7 (аналогичное размещение УМ, но на плате № 2). При приёме сигналы с устройства 2 от 4-х МШУ поступают на устройство 4 (расположено на плате № 1). Устройство 4 на рисунке 15 представляет собой сумматоры от 4-х сигналов с МШУ (для расширения диапазона частот возможен вариант выполнения сумматоров и делителей на трансформаторах), а также фазоинвертор на 180 градусов с использованием ключей и трансформатора для обеспечения круговой поляризации как правой, так и левой. Кроме того, для обеспечения одинаковой фазы в двух патч, усилители, расположенные с двух противоположных крайних сторон этих патч, возбуждаются в противофазе от одного трансформатора, но с разных выводов вторичной обмотки. Это даёт синфазный сигнал электромагнитных полей в

горизонтальной плоскости. Далее суммарный сигнал поступает на устройство 6 (плата № 2). Устройство 6 – это МШУ со смесителем, где происходит смещение радиосигнала на промежуточную частоту порядка 300-400 МГц. Одновременно в устройстве 9 (балансный модулятор (БМ) на плате № 2), на основе синтезатора частоты 11 (верхняя сторона платы № 1) через ключи устройства 16 (находятся на нижней стороне платы № 1, там, где располагаются радиоэлементы управления, с подключением через металлизированные отверстия) формируются гетеродинная частота или несущая частота сигнала с информацией. Если радио-модуль используется отдельно, в качестве мобильного устройства связи абонента, то металлизированные отверстия входа и выхода от управляющей платы АФАР соединяются на верхней стороне платы № 1 через разделительные конденсаторы соответствующей величины. Соответственно, при режиме АФАР сигнал информации на несущей частоте, через ключевое устройство 16, поступает от управляющей платы АФАР, что будет показано ниже. В БМ (устройство 9 на плате № 2) мы имеем необходимое изменение фазы для многолучевого режима АФАР, либо происходит модуляция информацией при отдельной работе каждого радио-модуля. С этой целью сигналы изменения фазы или информации поступают от ПЛИС (устройство 12 на верхней стороне платы № 1) через устройство 13 (цифро-аналоговый преобразователь (ЦАП) на верхней стороне платы № 1). При этом, устройство 9 представляет собой не только балансный модулятор, но в него входят также усилители с ключами, для обеспечения переключения сигнала с его выхода, либо на смеситель устройства 6 при приёме, либо на предусилитель (устройство 7 на плате № 2) для передачи информации или сигнала помехи на несущей частоте, а также с устройства 7 через ключ осуществляется подключение к выходу дополнительной низкочастотной антенны для обеспечения режима дуплекса. Таким образом, при приёме сигнала информации, сформированная гетеродинная частота сигнала от устройства 9 через ключ (устройство 15 на плате № 2) поступает на смеситель в устройстве 6. Далее сигнал после переноса на промежуточную частоту порядка 300 МГц - 400 МГц поступает на устройство 8 (плата № 2). Это устройство 8 состоит из предусилителя после смесителя в устройстве 6, фильтра для исключения сигнала на несущей частоте и частоте

гетеродина, логарифмического усилителя на 100 дБ и двух ключей переключения. Ключи устройства 8 дают сигнал, либо на вход устройства управления АФАР (нижняя часть многослойной печатной платы № 1), для использования сигнала промежуточной частоты в режиме АФАР, либо на вход смесителей (устройство 10 на плате № 2) для формирования сигналов в квадратуре на нулевой промежуточной частоте (в режиме радиоуправления БПЛА и связи). То есть, ключи в устройстве 8 задействованы таким образом, что при использовании в режиме мобильного устройства радио-модуля сигнал с выхода логарифмического усилителя сразу поступает на балансные усилители устройства 10. В режиме АФАР с помощью ключей передача сигнала промежуточной частоты осуществляется через СВЧ разъём типа «защёлка» на верхнюю часть платы № 1, а далее сигнал через металлизированное отверстие (или СВЧ кабель) поступает на нижнюю часть платы № 1. Кроме того, в режиме АФАР при приёме, в устройстве 8 предусматривается, через ключи на управляющей плате АФАР обратное поступление суммарного сигнала промежуточной частоты с учётом сложения фаз от всех радио-модулей АФАР. В этом случае промежуточный суммарный сигнал также через отдельное металлизированное отверстие поступает с нижней части платы №1 на верхнюю часть, и далее через соответствующий СВЧ разъём типа «защёлка» поступает в устройство 8, и через ключи этого устройства на балансные смесители устройства 10. Иными словами, по сравнению с исполнением радио-модуля для абонентов, отличие в использовании в режиме АФАР касается дополнения двух ключей в плате № 2 (устройство 8). Одновременно в плате № 1, сигналы в противофазе от синтезатора частоты поступают не через разделительные конденсаторы на БМ (устройство 9 на плате № 2) и делитель частоты (устройство 17 на плате № 1), а через металлизированные отверстия на контактах удалённых в системе АФАР разделительных конденсаторов. Через металлизированные отверстия сигналы поступают на ключи устройства 16 на обратной стороне платы № 1, где находятся радиоэлементы управляющей платы.

Данный режим АФАР может использоваться и для обеспечения обработки сигналов при параллельном многочастотном приёме сигналов от абонентов, так как вторые гетеродинные сигналы на промежуточной частоте, поступающие на балансные смесители устройства 10,

могут иметь в каждом радио-модуле своё значение. В этом случае, например, при параллельном многочастотном режиме при приёме сигналов в 16 несущих частот подстройка по частоте Доплера осуществляется не на нулевой промежуточной частоте, а на промежуточной частоте порядка 15-30 МГц с подстройкой внутри ПЛИС при потоке информации в 5-10 Мбит/сек (более подробно это рассмотрено несколько ниже). Практически это сравнивается с вариантом с потоком в 40 Мбит/сек, но для 4-х параллельных несущих частот. Для сравнения отметим, что в КА «Iridium» используется приём 6 несущих частот, но с потоком в 50 кбит/сек. Иными словами использование промежуточной частоты в предлагаемом радио-модуле имеет 4-х кратное назначение: для автономного режима работы, для режима АФАР, для многочастотного режима, и для режима дуплекса. При автономной работе радио-модуля ПЛИС с ЦАП (устройство 12 и 13) используются для фазовой автоподстройки (ФАПЧ) и формирования сигнала информации в режиме связи и радиоуправления. В режиме АФАР, ПЛИС с ЦАП (устройство 12 и 13) в радио-модуле используются для изменения фазы луча АФАР по информации от дополнительной платы устройства управления АФАР (нижняя часть платы № 1). В этом режиме, как уже отмечалось выше, при приёме сигналов абонентов в режиме разделения по времени, от устройства управления АФАР поступает суммарный сигнал на промежуточной частоте с учётом сдвига фаз в смесителе в устройстве 10 на плату № 2. На гетеродинные входы смесителей (устройство 10 на плате № 2) с учётом деления частоты на основе делителей на 2 (они также находятся в устройстве 10 для получения сигналов в квадратуре), от устройства 17 (представляет собой делитель частоты (на 4 или 3)) поступает сигнал на частоте порядка 600-800 МГц. Таким образом, обеспечивается перенос на нулевую промежуточную частоту сигнала от одного из абонентов с промежуточной частоты в 300 - 400 МГц. Надо отметить, что на устройство 17 (делитель частоты на плате № 1) через устройство 16 (это ключи, которые находятся на обратной стороне многослойной печатной платы № 1 (рис.16), при совмещении печатной платы № 1 с платой устройства управления АФАР в едином модуле) осуществляется выбор синтезатора частоты от радио-модулей АФАР. Сигнал информации, смещённый на нулевую промежуточную частоту через АЦП поступает в

ПЛИС (плата № 1), где осуществляется обработка сигнала с его отделением от других сигналов с использованием кода и полосы пропускания. Так как, важно не только принять сигнал от абонента, но и передать его по назначению, например, на другой БПЛА или КПУ, то отсюда следует необходимость режима дуплекса. В этом случае передача сигнала на высокой частоте сопровождается одновременным приёмом на низкой (промежуточной частоте), и наоборот, приём на высокой частоте сопровождается передачей на низкой частоте через дополнительную низкочастотную всенаправленную антенну. Для этого дополнительно необходимо обеспечить модуляцию информацией сигнала на промежуточной частоте при передаче от ПЛИС (плата № 1) и наличие самой частоты сигнала. С этой целью используется устройство 14 (находится на плате № 2), это тоже балансный модулятор (БМ), который даёт обеспечение режима передачи информации на промежуточной частоте в режиме дуплекса от ПЛИС (плата № 1), когда на высокой несущей частоте идёт приём информации. При приёме на промежуточной частоте также используется балансный модулятор в устройстве 14, где гетеродинным сигналом является сигнал от синтезатора частоты устройства 11 с подстройкой по частоте Доплера от сигналов с ПЛИС (плата № 1). Более подробно работа радио-модуля в режиме дуплекса рассмотрена в [5]. Собственно сигналы информации на промежуточной частоте обеспечивают связь БПЛА с КПУ и другими БПЛА, но возможен вариант связи и с абонентами (например, в режиме обнаружения и вызова), что также повышает помехозащищённость. Как уже отмечалось выше, чтобы обеспечить многочастотный параллельный вариант для абонентов, в режиме передачи необходимо задействовать те синтезаторы частоты в радио-модулях, которые не используются при приёме информации от абонентов. Здесь сигнал с синтезатора частоты радио-модуля через ключи устройства 16 поступает на соответствующий балансный модулятор (Рис.16) на плате устройства управления АФАР (нижняя часть платы № 1). То есть, сигналы с синтезаторов частоты подаются через ключи на соответствующие балансные модуляторы (БМ) на управляющей плате АФАР. Ещё раз отметим, что при работе радио-модулей в автономном режиме мы имеем 16 каналов связи на приём и передачу. Для приёма информации на 16 несущих частотах в режиме одного луча АФАР после

первичного переноса от одного общего гетеродинного сигнала осуществляется перенос в балансных смесителях устройства 10 не на нулевую промежуточную частоту, а на частоту порядка 15,375–30,75 МГц (тактовая частота дискретизации 123 МГц). В этом случае подстройка по частоте Доплера осуществляется внутри ПЛИС (устройство 12) с получением информации порядка 5–10 Мбит/сек для каждого абонента. Иными словами, мы пожертвовали скоростью приёма информации за счёт использования увеличения коэффициента усиления в однолучевом режиме. Но, как отмечалось выше, мы всё равно имеем выигрыш, так как данный режим эквивалентен передаче одновременно 4-х несущих частот с общим потоком для каждого в 40 Мбит/сек, что эквивалентно приёму в 160 Мбит/сек на одной частоте.

Однако, оценим возможности скорости приёма информации в помехозащищённом варианте для варианта автономного режима радио-модуля с коэффициентом усиления антенны из 2-х патч, что составит 11,5 дБ (14,1 раз). Соответственно будем считать, что и радио-модуль абонента также направлен в сторону БПЛА и тоже даёт усиление антенны в 11,5 дБ. По формуле (3) вычислим необходимую возможную полосу пропускания при мощности радио-модуля всего 0,04 Вт. В этом случае она равняется 10,45 МГц, что соизмеримо со скоростью передачи информации в 10 Мбит/сек. То есть, при помехозащищённом варианте связи, повышать мощность излучения в 4 раза с увеличением скорости передачи в 41 Мбит/сек нежелательно. Исходя из скорости передачи в системе связи «Iridium» мы также можем использовать разделение во времени в каждом радио-модуле для приёма абонентов. При скорости передачи информации в 5,2 Мбит/сек с учётом кода Манчестера мы будем иметь передачу 414 бит для каждого пользователя в течение 90 мсек за 79,6 мсек. С учётом скважности $Q=10$ для скрытности от средства РТР или использования кодирования в 10 бит, на одного пользователя будет уходить 796 мсек. В итоге на один слот в 8,28 мсек будет приходиться не менее 10 абонентов. С учётом наличия 4-х слотов получим, что один радио-модуль способен обслужить 40 пользователей. В итоге при 16 радио-модулях количество обслуживаемых абонентов составит 640. Если количество пользователей невелико, то можно применить дополнительное кодирование.

Следующий вариант – это применение радио-модулей в режиме АФАР с 8-ми лучами одновременно. В этом случае, в управляющей плате (функциональная схема на рисунке 16) для режима передачи информации при многолучевом варианте (8 лучей), помимо ПЛИС с ЦАП и балансным модулятором для однолучевого варианта АФАР, необходимо дополнительно предусмотреть ещё 7 ПЛИС с ЦАП и балансными модуляторами. Это обеспечивает передачу информации на несущих частотах в каждом луче из 8-ми подАФАР. В качестве синтезатора частоты на несущую частоту передачи выбирается один синтезатор частоты одного радио-модуля из двух, образующих подАФАР. При переключении на приём, в качестве гетеродинного сигнала на один из восьми БМ находящихся в управляющей плате АФАР используется оставшийся синтезатор частоты в модуле подАФАР, который в момент передачи на высокой несущей частоте используется в качестве гетеродинного сигнала промежуточной частоты в режиме дуплекса. Соответственно время переключения с приёма на передачу здесь при использовании ключей RF3024 не превышает 40 нсек.

В случае приёма сигнала в 41 Мбит/сек на высокой несущей частоте необходимо осуществить подстройку по частоте Доплера и смещение на нулевую промежуточную частоту с выделением приходящей информации. Здесь принимаемый сигнал, с переносом на промежуточную частоту и после усиления, с платы № 2 (РИС. 8 и 10) через ключи устройства 8 поступает на сумматор сигнала от двух радио-модулей находящийся на управляющей плате АФАР (Рис.16), что позволяет учитывать направление приходящего сигнала за счёт сложения фаз на промежуточной частоте. Далее этот общий сигнал на промежуточной частоте после суммирования на управляющей плате АФАР через ключи 1 и 2 и делитель 1 (Рис.16) поступает на балансные смесители по синусу и косинусу на платах № 2 (Рис.8 и 10) двух радио-модулей через СВЧ разъём на верхней части платы №1 типа «защёлка». Причём в качестве формирователя промежуточной частоты используется синтезатор частоты того радио-модуля из двух, который не задействован при приёме на несущей частоте. Это позволяет обеспечить независимость между частотой гетеродина и промежуточной частотой перед сбросом на нулевую промежуточную частоту. После переноса на нулевую промежуточную частоту сигналы с

балансных смесителей по синусу и косинусу поступают через операционные дифференциальные усилители на соответствующие АЦП и ПЛИС (плата № 1) этих двух радио-модулей, где происходит выделение информации со скоростью 41 Мбит/сек и определяется необходимая величина сдвига по частоте. Эти данные поступают на общий ПЛИС для этих радио-модулей на плате устройства управления АФАР, где путём, например, усреднения определяется оптимальное значение по подстройке по символам и частоте с выделением информационного сигнала. Подстройка по частоте Доплера здесь уже осуществляется за счёт ПЛИС, ЦАП и балансного модулятора, находящихся на плате устройства управления АФАР (нижняя часть платы №1), которые использовались и в режиме передачи для луча подАФАР. Надо отметить, что использование при приёме балансных смесителей по косинусу и синусу, АЦП и ПЛИС от двух радио-модулей при обработке принимаемого сигнала с некоторого направления позволяет уменьшить шумы квантования, так как детерминированные сигналы имеют корреляцию, а шумы нет. Кроме того, используя, например, в одном радио-модуле прямой сигнал такта дискретизации на АЦП, а во втором радио-модуле инверсный сигнал такта дискретизации на АЦП, можно получить более точную символьную синхронизацию с ошибкой определения $1/(246 \text{ МГц})$, а значит, и получить снижение вероятности ошибки по достоверности информации. При режиме навигации и определения местоположения мы будем иметь точность не менее 1,2 метра, и это без учёта использования сплайнов, оценивающих значения амплитуд накопления при тактах дискретизации.

Преимущество многолучевого режима выражается и в том, что в этом случае время вызова от БПЛА на абонента по сравнению с однолучевым вариантом без поиска по направлению при коде в 128 бит составит 28,77 мсек, что позволяет выделить на поиск и обнаружение время соизмеримое с временем отводимое на преамбулу Simplex с одним слотом (по рисунку 1) с вызовом и ответом через 0,09 сек. То есть, мы укладываемся в интервал времени вызовов с ответами в 2,1 сек. Однако мы будем иметь падение коэффициента усиления для каждой подАФАР до 14,5 дБ (28,18 раз), если исходить из параметров антенны [8]. Соответственно это должно компенсироваться увеличением энергетического потенциала во

столько же раз. В нашем случае мы должны повысить мощность излучения УМ с 0,04 Вт до 0,32 Вт (такую мощность при питании в 3 В даёт один усилитель мощности SZA-2044, а у нас их в радио-модуле - четыре). Аналогично с 0,04 Вт до 0,32 Вт нужно поднять и мощность передатчика абонента для ответа на вызов. Отсюда, если вычислить по формуле (2) полосу пропускания необходимую для обнаружения нашего сигнала средствами РТР противника с учётом того, что $P_{\text{ц}}=0,32 \text{ Вт}$, $G_{\text{цбл}}=0,444$, то она также составит 20,8 МГц. Но параметры по скрытности могут быть улучшены, если учитывать априорное направление антенны абонента, состоящей из 2-х патч, в сторону БПЛА. При априорном начальном расположении патч-антенны радио-модуля абонента в сторону БПЛА мощность сигнала БПЛА можно снизить, так как ранее мы исходили из того, что в одночастотном режиме мы используем при передаче $P_{\text{ц}}=0,04 \text{ Вт}$ по формуле (3), при этом получили необходимую полосу в 5,87 МГц и коэффициенте усиления антенны абонента в $G_a=0,5$. Учитывая возможность направления антенны из 2-х патч предлагаемого радио-модуля абонента в сторону на БПЛА, то благодаря $G_a=14,1$ (11,5 дБ) с учётом формирования 8-ми лучей, мы получим полосу пропускания по формуле (3) равной 20,69 МГц. В этом случае мы имеем превышение над порогом чувствительности уже по одному символу информации с учётом кода Манчестера. Соответственно при $P_{\text{ц}}=0,04 \text{ Вт}$, вместо $P_{\text{ц}}=0,32 \text{ Вт}$, в средстве РТР противника потребуется сузить полосу пропускания для обнаружения сигнала в 8 раз до 2,6 МГц. Это означает, что для обнаружения сигнала от БПЛА потребуется накопить 8 символов информации без учёта скважности. При скважности $Q=10$ потребуется сузить полосу пропускания для обнаружения ещё больше до 0,26 МГц, а это возможно только для случая ретрансляции сигнала от БПЛА противника на наземное средство РТР, где возможно параллельное использование множества цифровых фильтров. Понятно, что не всегда удаётся правильно обеспечить начальное априорное положение антенны радио-модуля относительно БПЛА, поэтому при сигнале вызова и ответа после поиска и обнаружения взаимно передаются навигационные данные о местоположении БПЛА и абонента, что позволяет достаточно точно ориентировать как луч БПЛА, так и выставлять априорное положение предлагаемого радио-модуля абонента. Кроме того, режим дуплекса позволяет

использовать сигнал, принимаемый на промежуточной частоте для поиска и обнаружения во время передачи сигнала на несущей частоте. То есть, в этом случае время на поиск и обнаружение сигнала от абонента и обратно можно разнести с временем передачи и приёма информации на основной несущей частоте, что повышает помехоустойчивость.

Исходя из сказанного, будем считать, что для 8-ми лучевого варианта АФАР при априорном расположении патч-антенны радио-модуля абонента в сторону БПЛА у нас идет накопление 7 бит по некоторому коду, например, по коду Баркера с учётом кода Манчестера, и при скважности $Q=3$. В этом случае один символ информации выделяется при полосе пропускания в 0,976 МГц (1,024 мксек). Фактически это сравнимо со скоростью передачи в 1,2288 Мбит/сек при коде в 128 бит в системе «Globalstar». Понятно, что в данном варианте необходимая полоса пропускания для обнаружения сигнала БПЛА в средстве РТР противника должна быть тоже не менее 0,976 МГц, что обеспечить весьма затруднительно, так как на полосу пропускания антенны в 200 МГц потребуются иметь 204 цифровых фильтра. Подчеркнём, что сигнал от абонента при априорном расположении патч антенны его радио-модуля, если исходить из формулы (1), может быть определён, если используется установка средства РТР противника на летательный аппарат (ЛА) и при полосе пропускания 0,208 МГц с принятием сигнала по боковому лепестку в минус 40 дБ. Иными словами, обнаружение сигнала от абонента представляет ещё более сложную задачу.

Как мы отмечали выше, мы можем сократить время вызова при АФАР с восемью лучами, уменьшив код вызова до 12 бит вместо 128 бит и менее, так как достоверность символа информации обеспечивается уже при одном из семи бит кода Баркера с учётом кода Манчестера при скважности $Q=3$. Отметим, что при начальном вызове использование кода Баркера и кода Манчестера снижает уровень боковых лепестков при поиске для символьной синхронизации, однако это не значит, что мы не можем использовать иные коды. В этом случае общая длина кода составит величину 504 бита (это сравнимо с кодом ГЛОНАСС в 512 бит, но при этом в ГЛОНАСС на код уходит 1млсек), что по времени эквивалентно длине $1/41 \text{ МГц} \times 12$ (символов информации) $\times 7$ (биты кода Баркера) $\times 2$ (биты кода Манчестера) $\times 3$

(скважность) $= 12,2925 \text{ мксек}$. Отсюда мы имеем общее время на поиск и обнаружение $504 \times 12,2925 \text{ мксек} \times 2$ (сдвиг на полбита) $= 12,39 \text{ млсек}$. Это означает, что для режима вызова необходимо 2 слота по рисунку 1. Понятно, что время вызова можно ещё больше сократить, если использовать вначале биты кода по времени большей длины (например, от 0,1 мксек до 1 мксек) с переходом на биты по времени малой длины ($1/41 \text{ МГц} = 24,39 \text{ нсек}$), что оговаривается использованием соответствующего протокола связи. При этом, при использовании 2-х слотов для вызова с длительностью 8,28 млсек мы имеем 4,169 млсек для дополнительного потока необходимой информации при вызове и ответе. Так как у нас превышение над порогом будет уже при наличии кода Манчестера (0,049 мксек), то при коде Баркера и скважности $Q=10$ за 4,169 млсек мы сможем передать 1220 бит дополнительной служебной информации. Надо отметить, что 8 лучей, которые дают подАФАР соответствуют количеству 8 лучам одной из шести АФАР находящихся на КА системы связи «Iridium», что позволяет говорить о совместимости режимов с использованием аналогичного формат кадра по рисунку 1 при временном разделении пользователей.

Теперь остановимся на однолучевом много-частотном режиме при передаче и приёме. В этом случае в режиме передачи в многочастотном режиме, и с использованием одного общего луча АФАР, в управляющей плате происходит суммирование сигналов от восьми балансных модуляторов на этой плате. Этот общий суммарный сигнал далее будет поступать на несущей частоте с информацией на балансные модуляторы всех радио-модулей на плате № 2 через ключи (устройство 16), которые также находятся на управляющей плате АФАР. Однако в этом случае необходимо учитывать возможность наличия интермодуляционных помех, что исключается за счёт линейного режима работы в усилителях. Представленная функциональная схема на рисунке 15 обеспечивает также режим дуплекса, при котором передача сигнала информации на высокой несущей частоте может осуществляться с приёмом сигнала информации на промежуточной низкой частоте от дополнительной антенны. В этом случае частота сигнала от синтезатора одного из радио-модулей без информации, может не совпадать с частотой на передачу на высокой частоте, что расширяет диапазон возможных частот для принимаемых сигналов

информации на низкой промежуточной частоте. Соответственно балансные модуляторы (устройство 9) на платах № 2 радио-модулей вносят изменение фазы для одного из семи возможных положений луча АФАР.

В одном луче АФАР мы можем использовать при приёме и 8 гетеродинных частот по количеству ПЛИС, ЦАП и БМ в управляющей плате АФАР с соответствующей подстройкой по частоте Доплера по информации от ПЛИС (устройство 12) радио-модулей, которые и перед поступлением на балансные модуляторы (устройство 9) радио-модулей суммируются. Возможный разнос частот при полосе в 200 МГц может равняться величине в 25 МГц. В этом случае также необходимо учитывать возможность наличия интермодуляционных помех.

Теперь определим, какая дополнительная информация необходима для обеспечения различных режимов работы в первом приближении. В этом случае предполагаем, что в зоне барражирования для связи может находиться до 8 БПЛА и это 3 бита информации. Суть использования нескольких БПЛА в том, что возможно применение режима «Хендовер» (в сотовой связи процесс передачи обслуживания абонента во время вызова или сессии передачи данных от одной базовой станции к другой). В нашем случае это исключает наведение ракет по сигналам связи от БПЛА в силу того, что после передачи абонентов с первого БПЛА на второй БПЛА, первый БПЛА переходит в режим молчания с коррекцией направления движения, например по кругу. Следующим шагом необходимо обеспечить временную синхронизацию, с этой целью следует передать абоненту местоположение БПЛА по трём координатам. Здесь практически можно использовать разметку топографических карт с привязкой к соответствующему листу местности размером 20 км × 20 км с точностью до 1 метра. Это соответствует необходимости наличия 15 бит по длине и ширине. Отметим, что если исходить из точности такта дискретизации при символьной синхронизации в 123 МГц, то требуемая точность составит 2,44 метра. Для варианта, рассмотренного при восьми лучах с использованием прямого и инверсного такта дискретизации, мы обеспечиваем точность в 1,2 метра. Одновременно будем считать, что потолок высоты БПЛА составляет 6 км, что требует наличия ещё 13 бит информации. Таким образом, на передачу дополнительного сообщения о местоположении уйдёт порядка 43 бита

информации. Далее необходимо выдать показание временного счётчика в момент окончания временного интервала по поиску и обнаружению. Если считать, что показания счётчиков могут отличаться на 2 секунды, исходя из того, что запрос может происходить каждые 2 секунды, то при допустимой ошибке в 2 такта дискретизации, что составляет $2/123 \text{ МГц} = 0,0163 \text{ нсек}$ нам потребуется 27 бит информации. В итоге в самом начале мы должны выделить на идентификацию БПЛА и привязку к времени и месту 73 бит информации. Далее может идти информация о номере вызова абонента. Как было показано выше это число соответствует числу 640. Однако, будем пока считать, что это количество не может превысить количество одновременно обслуживаемых абонентов одним КА «Iridium» в 2500, на что требуется ещё 12 бит информации. Таким образом, общее количество первоначальной информации составит 85 бит. Исходя из приведённых выше данных по возможному выделению бит на дополнительную информацию, мы можем значительно повысить начальную точность определения местоположения и на временное рассогласование часов на БПЛА и у абонента за счёт дополнительных бит. Зная местоположение БПЛА и время после цикла поиска и обнаружения, а также своё местоположение по данным навигации, устройство абонента способно вычислить время, исходя из дальности от БПЛА до абонента, когда можно дать ответ в относительном времени, чтобы попасть на начало цикла приёма информации, при этом осуществляется и синхронизация часов. Однако, теперь, необходимо определить, когда необходимо выдать ответ на запрос от БПЛА с учётом того, что он перемещается со скоростью 250 км/ч ($V_{\text{бпЛА}} = 69,45 \text{ м/сек}$). Если исходить из поочерёдного цикла приёма и передачи через 8,28 мсек, то за время одного слота БПЛА переместится на 0,575 метра. С учётом распространения сигнала на 20 км, туда и обратно (это не более 3 мсек), общее время перемещения БПЛА за время запроса и ответа составит менее 1 метра, что не даст нарушения в режимах синхронизации, так как у нас такт дискретизации с прямым и инверсным сигналом в 123 МГц даёт неопределённость в 1,2 метра. Понятно, что при многолучевом режиме в 8 лучей при вызове и ответе (это использование 2 слотов на приём и 2 слотов на передачу) у нас остаётся $1220 \text{ бит} - 85 \text{ бит} = 1135 \text{ бит}$ на дополнительную

информацию или на использование дополнительного кодирования.

Благодаря меньшей дальности от абонентов до БПЛА по сравнению с системами связи космического базирования мы имеем лучшие параметры по энергетическому потенциалу и чувствительности. Здесь, при наличии многолучевого режима на 8 лучей мы используем синтезаторы частот каждого радио-модуля с учётом приёма и передачи, и при этом радиоэлементы имеют многофункциональное применение. В автономном режиме каждого радио-модуля АФАР БПЛА число параллельных каналов доходит до шестнадцати. При использовании 8 ПЛИС, ЦАП, балансных модуляторов на плате устройства управления АФАР мы можем принимать и передавать до 8 сигналов информации параллельно также и в режиме одного луча АФАР. То есть мы обеспечиваем и многочастотный режим для АФАР БПЛА. Как известно, одна АФАР из шести в КА «Iridium» способна формировать в многочастотном режиме параллельно только 6 сигналов. Понятно, что параллельная передача сигнала потребует увеличение мощности в 8 раз. Однако ранее мы исходили из того, что в одночастотном режиме мы используем при передаче 0,04 Вт по формуле (3), при этом получили необходимую полосу в 5,87 МГц и коэффициенте усиления антенны абонента в $G_a=0,5$. Если учесть ещё возможность антенны из 2-х патч предлагаемого радио-модуля абонента с априорным направлением в сторону на БПЛА, то в этом случае благодаря $G_a=14,1$, с учётом потерь в 8 раз из-за параллельного излучения, мы получим полосу пропускания по формуле (3) равной 20,69 МГц. Это сравнимо с чувствительностью приёмника РТР противника по формуле (2), что позволяет говорить о соблюдении скрытности передаваемого сигнала абонентам. Надо отметить, что наличие одновременно параллельно излучаемых и передаваемых сигналов позволяет поднять количество абонентов в однолучевом режиме АФАР БПЛА с 320 до 2560, что

соответствует количеству абонентов, обслуживаемых одним КА «Iridium». Кроме того, время поиска и обнаружения ответа от абонента также может быть сокращено благодаря тому, что сигнал ответа от абонента может приниматься одновременно по 8-ми каналам с разделением интервала поиска между ними.

Одновременно, если поднять мощность излучения на передачу, например в 8 раз с 0,04 Вт до 0,32 Вт, то возможно использовать режим QAM вместо BPSK с увеличением количества информации в режиме ТЛФ на каждого абонента в 3 раза с 4,6 кбит/сек до 13,8 кбит/сек. Если такую мощность использовать для каждого из 4-х УМ в предлагаемых радио-модулях, то скорость передачи можно увеличить и до 55,2 кбит/сек для каждого абонента. Иными словами, АФАР для БПЛА на предлагаемых радио-модулях ни в чём не уступает системе связи «Iridium» для одного КА, но даже превосходит по радиотехническим параметрам и помехозащищённости. Надо отметить, что иной альтернативы увеличению коэффициента направленного действия для антенн абонентов, в целях помехозащищённости и увеличения скорости передачи, не существует. Именно по этому пути и пошли разработчики систем связи «Starlink» и «Oneweb» с учётом определения местоположения. В нашем случае мы имеем преимущество в том, что за счёт использования режима дуплекса мы можем совместить режимы первоначального вызова и ответа с использованием ненаправленной антенны на низкой частоте с применением в режиме информации направленной антенны на высокой частоте.

Соответственно представим упрощённую функциональную схему управляющей платы АФАР БПЛА, которая совмещена с платой № 1, но с расположением радиоэлементов на нижней части платы №1 (рисунок 16). Здесь разделены приёмная и передающая части за счёт их взаимодействия через радио-модули.

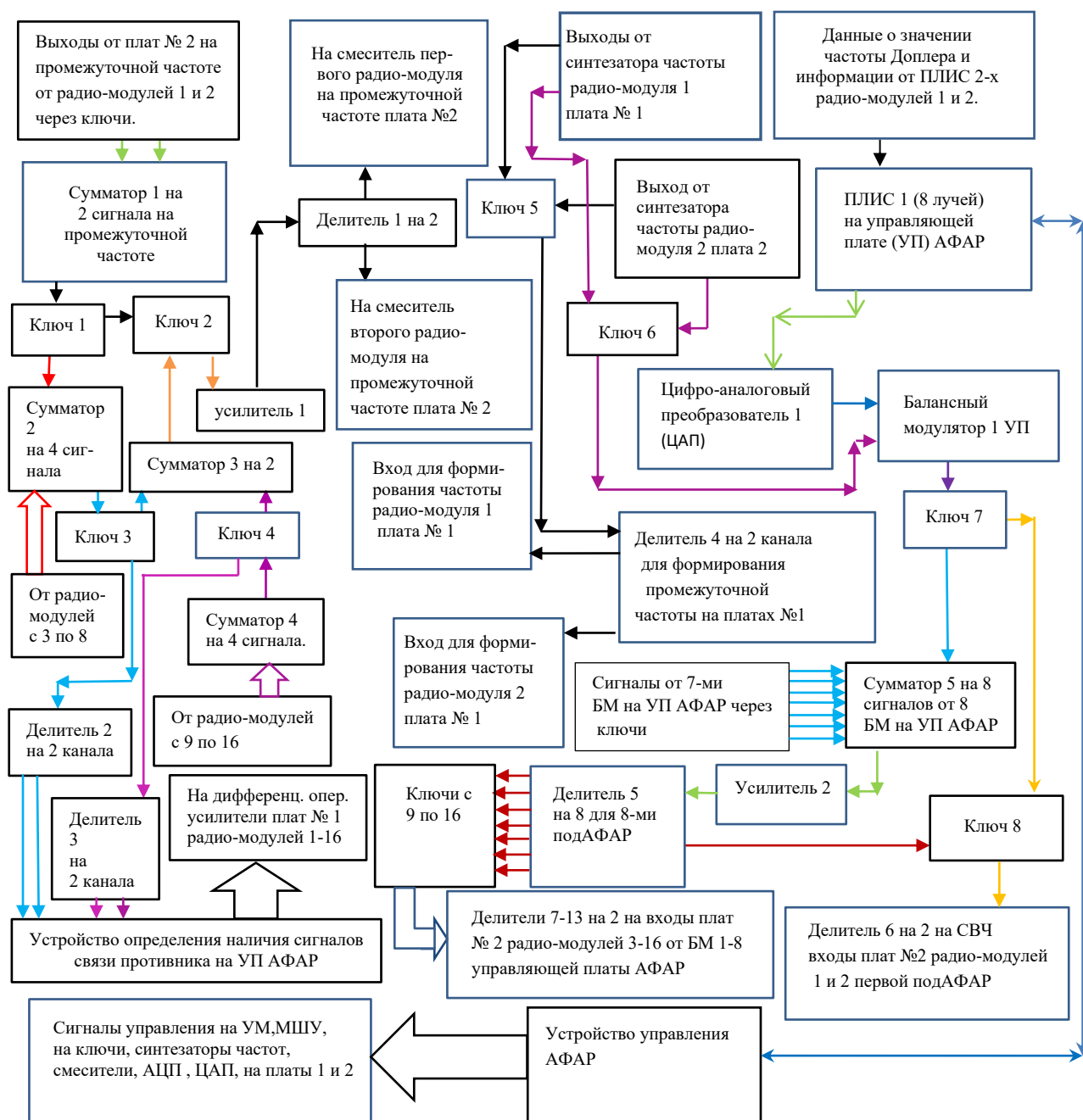


Рис. 16. Управляющая плата (УП) АФАР

Рассмотрим различные режимы работы в управляющей плате (УП) АФАР более подробно. При приёме сигналов информации на несущей частоте в радио-модулях, происходит их преобразование на промежуточную частоту, и сигналы на промежуточной частоте порядка 300-400 МГц от радио-модулей 1-16 поступают с устройств 8 (плата № 2) через ключи в устройстве 8 на УП АФАР по Рис. 15 и Рис.16. Далее эти сигналы суммируются попарно от двух радио-модулей с образованием 8-ми подАФАР. На Рис.16 это показано через сумматор 1. После суммирования общий сигнал от двух радио-модулей поступает на ключи (на Рис.16 это ключ 1). В устройстве управления АФАР (Рис.16)

определяется режим работы. В одном положении ключей 1 и 2 общий сигнал от двух радио-модулей на промежуточной частоте поступает после усиления (усилитель 1) на делитель 1, где делится на 2 сигнала. Эти сигналы с учётом фазы луча подАФАР поступают обратно на балансные смесители (устройство 10 плата № 2) через СВЧ разъём типа «защёлка». На другие входы этих балансных смесителей поступают сигналы промежуточной частоты (устройство 10 (плата № 2) на Рис.15) в квадратуре от сигнала синтезатора частоты одного из двух попарно-объединённых радио-модулей. Далее в радио-модулях эти сигналы с платы № 2 поступают на плату № 1 на дифференциальные

операционные усилители, и затем на АЦП и ПЛИС (плата № 1 радио-модуля). Отметим ещё раз, что сигнал дискретизации, поступающий на АЦП от ПЛИС в объединённых радио-модулях, может иметь прямой и инверсный вид, благодаря тому, что делитель 1 может быть выполнен на трансформаторе. В результате точность оцифровки повышается в 2 раза с уменьшением шумов квантования. Это улучшает и точность определения местоположения при использовании радио-модулей АФАР для навигации также в 2 раза без учёта применения сплайнов по амплитуде. В ПЛИС (плата № 1 радио-модулей) осуществляется обработка принимаемого сигнала с выявлением частоты Доплера (уровень управляющего напряжения) и сигнала информации (биты информации с тактом считывания), и эти данные поступают на соответствующий ПЛИС на плате УП АФАР исходя из формирования 8-ми лучей. В ПЛИС 1 (возможно и в устройстве управления АФАР) на плате УП АФАР одного из 8-ми (Рис.16) осуществляется оценка результатов полученных данных, с ПЛИС попарно объединённых радио-модулей по Рис. 15. Полученное значение управляющего напряжения для частоты Доплера используется для подстройки через сигналы по синусу и косинусу (по уровню сигнала полученного от ПЛИС радио-модулей), поступающие на ЦАП 1 (Рис.16) и далее на балансный модулятор БМ 1 УП. Одновременно с двух выходов каждого синтезатора частоты с попарно объединённых радио-модулей для формирования 8-ми лучей расположенных на плате № 1 по Рис.15, на плату УП АФАР поступают сигналы разной высокой частоты на ключи 5 и 6 по Рис.16. С помощью ключей 5 и 6 определяется частота сигнала, которая будет использоваться для формирования двойной промежуточной частоты. Эта частота сигнала через СВЧ разъём типа «защёлка» будет поступать с платы № 1 на балансные смесители платы № 2 (устройство 10) через делители частоты на 2 (формирование сигналов в квадратуре). Надо отметить, что частота сигнала может быть выбрана такой, что будет обеспечиваться перенос частоты сигнала информации не на нулевую промежуточную частоту, а вторую промежуточную частоту порядка 15-30 МГц. Это позволяет осуществлять подстройку по частоте Доплера внутри ПЛИС радио-модуля, но со снижением скорости передачи информации до 10 Мбит/сек и менее. Одновременно с помощью ключей 5 и 6 определяется и частота сигнала, которая будет

использоваться в качестве гетеродинного сигнала с поступлением на БМ 1 УП (Рис.16). Возможны как одинаковые частоты сигналов при формировании промежуточной и основной частоты, так и разные. Далее через ключ 7 и ключ 8 и делитель 6, сигнал гетеродина со смещением по частоте Доплера через СВЧ разъём типа «защёлка» с платы № 1 поступает на устройства 9 плат № 2 (Рис.15) двух попарно-объединённых радио-модулей. В устройстве 9 плат № 2 сигнал гетеродина поступает на балансный модулятор, который изменяет фазу сигнала и обеспечивает управление лучом одной из восьми подАФАР в данном режиме работы. Соответственно этот сигнал поступает на смеситель (устройство 6 на плате № 2) через ключ (устройство 15 плата № 2) на рис.15. Этим самым обеспечивается приём сигнала на несущей частоте с замыканием ФАПЧ с подстройкой по частоте Доплера и выделением сигнала информации в ПЛИС радио-модулей в режиме 8-ми лучей.

Следующий режим работы при приёме сигналов в варианте одного или 2-х лучей АФАР заключается в том, что через ключ 1 УП АФАР сигнал от двух объединённых попарно радио-модулей поступает на сумматор 2 для 4 сигналов от радио-модулей 1-8. С сумматора 2 для 4-х сигналов от радио-модулей 1-8 общий сигнал поступает на ключ 3. Аналогично с сумматора 4 для 4-х сигналов от радио-модулей 9-16 общий сигнал поступает на ключ 4. В режиме общего одного луча АФАР сигналы с ключей 3 и 4 (Рис.16) поступают на сумматор 3. Полученный общий сигнал на промежуточной частоте с принимаемой информацией поступает на ключ 2 и с него через усилитель 1 на делитель 1. После деления на два сигнала в делителе 1 сигналы поступают на балансные смесители объединённых попарно радио-модулей 1 и 2 на плате № 2 (устройство 10 на Рис.15). Далее сигналы на нулевой промежуточной частоте с разделением по синусу и косинусу с платы № 2 радио-модулей 1 и 2 поступают на соответствующие АЦП и ПЛИС, в результате чего осуществляется выделение информации и определение сдвига по частоте Доплера. Данные о частоте Доплера поступают на ПЛИС 1 на управляющей плате АФАР (Рис.1), а информация поступает на устройство управления АФАР. Формирование общего гетеродинного сигнала на все радио-модули 1-16 осуществляется аналогично тому, как это было показано для одного луча из восьми подАФАР, с той разницей, что через

ключ 7 сигнал гетеродина поступает вначале на сумматор 5, а не сразу на ключ 8. Сигналы от других БМ УП АФАР в этот момент при отсутствии многочастотного режима при приёме не поступают. С сумматора 8 сигнал поступает на усилитель 2. После усиления общий сигнал гетеродина с учётом сдвига по частоте Доплера поступает на делители 7-13 и ключи 8-16. Далее сигнал поступает на устройство 9 (Рис.15) всех 16 радио-модулей через делители 6-13. При режиме передачи при наличии одного общего луча АФАР возможен многочастотный параллельный режим передачи информации одновременно 8-ми абонентам. В этом случае со всех 8-ми ПЛИС УП АФАР поступают сигналы информации через соответствующие восемь ЦАП на восемь БМ УП АФАР. На вторые входы БМ УП АФАР поступают (от 8-ми из 16-ти синтезаторов частот радио-модулей) сигналы несущих частот. Про модулированные информацией сигналы несущих частот через соответствующие ключи 7 поступают на сумматор 5 для суммирования 8-ми сигналов на несущих частотах с информацией. Далее через усилитель 2 сигналы поступают через ключи на соответствующие радио-модули в устройство 9 по Рис.15. В балансном модуляторе устройства 9 к сигналу передачи добавляется фаза для обеспечения нужного направления луча. Надо отметить, что оставшиеся синтезаторы частоты в радио-модулях могут использоваться для приёма сигналов информации от дополнительной антенны в режиме дуплекса. Понятно, что в режиме приёма на высокой частоте также организуется режим дуплекса для передачи информации на промежуточной частоте. Собственно режим дуплекса на промежуточной частоте позволяет в скрытом режиме осуществлять как поиск, обнаружение и вызов с обеспечением временной синхронизации по аналогии как это сделано в системе связи «Iridium».

Для выделения сигнала связи противника предусмотрено деление общей АФАР на 2 подАФАР (Рис.16). С этой целью сигналы первой подАФАР через ключ 3 поступают на делитель 2 и далее на устройство определения наличия сигналов связи (УОНСС) и помех от противника. Соответственно сигналы второй подАФАР поступают через ключ 4 на делитель 2 и далее на устройство определения наличия сигналов связи, где происходит обработка сигнала по принципу показанному на функциональной схеме по рисунку 5.

Это устройство определения наличия сигналов связи находится на управляющей плате АФАР. То есть, помимо связи обеспечивается многофункциональное использование.

Соответственно можно сделать выводы по использованию предлагаемых радио-модулей в системах связи с учётом их объединения в АФАР БПЛА.

1. Конструкция применения патч в предлагаемых радио-модулях позволяет формировать на их основе патч-антенны в диапазоне от 250 МГц до 4 ГГц (до 6 ГГц при специализированной АФАР) с использованием как вертикальной, горизонтальной и круговой поляризации как левой, так и правой [7].

2. Предлагаемые радио-модули имеют оптимизированные радиотехнические параметры для обеспечения связи вплоть до 150 Мбит/сек при быстрой фазовой автоподстройки частоты (ФАПЧ) вплоть до 100 мксек [1].

3. Предлагаемые радио-модули сочетают в себе возможность принимать и излучать сигналы информации как на высокой несущей частоте, так и на промежуточной частоте в режиме дуплекса, что позволяет сочетать режимы всенаправленной антенны на низкой частоте с направленной антенной на высокой частоте.

4. Использование предлагаемых радио-модулей в АФАР БПЛА позволяет использовать как многолучевой режим работы, так и многочастотный режим на приём и передачу с лучшими параметрами, чем это предлагается в системах связи «Iridium» и «Globalstar».

5. По количеству обслуживаемых абонентов АФАР БПЛА равняется количеству обслуживаемых абонентов одним КА связи «Iridium» или «Globalstar».

6. По скорости передачи информации АФАР БПЛА на предлагаемых радио-модулях равняется таким системам связи как «Starlink» и «OneWeb», что позволяет передавать сигналы от оптико-электронных устройств в цифровом виде с высоким разрешением.

7. Предлагаемые радио-модули обеспечивают помехозащищённый протокол связи с учётом перестраиваемых радиотехнических параметров.

8. Выбор конфигурации предлагаемых радио-модулей определялся размерами смартфона с учётом индивидуального отдельного применения радио-модуля и составил 13,5 см×7 см×1,5 см (в случае с использованием с

антенной АФАР 13,5 см×7 см×2 см), что лучше даже отдельных специализированных устройств. Для примера навигационный приёмник Каскад - 4 М имеет размеры 13 см×13 см×2,2 см, что неудобно при личном использовании из-за квадратной конструкции. Одновременно устройство связи E2E4 KHUKRI STEALTH имеет размеры 14 см×8 см×4 см, что также неудобно при личном использовании из-за толщины.

9. Предлагаемые радио-модули обеспечивают в режиме АФАР БПЛА и многофункциональные режимы такие как определение местоположения сигналов связи и помех от противника, а также обеспечивают точность подстройки по символам, что позволяет при определении местоположения иметь точность порядка одного метра и менее.

10. Предлагаемые радио-модули используют радиоэлементы из ширпотреба 10-15 летней давности и легко могут быть освоены нашей промышленностью. При этом обеспечивается унификация с использованием радио-модулей как отдельно, так и в качестве элементов АФАР. Дальнейшее развитие связано с микроминиатюризацией за счёт объединения радиоэлементов в общие микросхемы с уменьшением энергетических потерь. При этом габаритные характеристики радио-модуля определяются размерами патч-антенны. Кроме того, аналогичные характеристики по многофункциональности получить с помощью известных трансиверов, например, таких как трансивер AD9361, невозможно в силу их узкоспециализированного применения.

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, стр.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. Г.Т. Марков, Б.М. Петров, Г.П. Грудинская. Электродинамика и распространение радиоволн. Москва «Советское радио», 1979 г., С.314.

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

10. Бартон Д., Вард Г. Справочник по радиолокационным измерениям. Москва. Советское радио, 1976 г. С.316.

RYSIN Andrey Vladimirovich

radio engineer, ANO “STRC” Technical Committee”,
Russia, Moscow

BOYKACHEV Vladislav Naumovich

Candidate of Technical Sciences,
director, ANO “STRC” Technical Committee”,
Russia, Moscow

SOKOLOV Alexey Dmitrievich

head of the sector, ANO “STRC” Technical Committee”,
Russia, Moscow

NAYANOV Alexey Mikhailovich

head of the sector, ANO “STRC” Technical Committee”,
Russia, Moscow

EVALUATION OF THE POSSIBILITIES OF USING AN OPTIMIZED MULTIFUNCTIONAL RADIO MODULE OF AN UNMANNED AERIAL VEHICLE (UAV) AS AN ELEMENT OF AN ACTIVE PHASED ARRAY ANTENNA (AFAR) AS A MEANS OF COMMUNICATION

Abstract. *At the present stage of development of radio control and communication systems, there is a question of optimizing radio-electronic devices in micro module design as part of AFAR in order to reduce economic costs through unification and multifunctional use. At the same time, there is a need to optimize work for specific tasks, taking into account communications, radio intelligence, determining the location of enemy radio sources and radio interference. In this article, based on the analysis of the characteristics of known radio communication systems, functional schemes and specific technical solutions to the tasks are proposed.*

Keywords: *the UAV radio module, space communication systems, optimized functional circuits for processing the radio signal in the radio module, the layout of radio modules in the AFAR in combination with the control device.*

ФЕДОРОВА Наталья Юрьевна

инженер по испытаниям 1 категории, АО «НПО Лавочкина», Россия, г. Химки

ИССЛЕДОВАНИЕ ПЛАНЕТ: МАРС, ВЕНЕРА И ПЕРСПЕКТИВЫ КОСМИЧЕСКОГО ТУРИЗМА НА ЛУНУ

Аннотация. Данная научная статья представляет комплексное исследование трех планет нашей солнечной системы: Марса, Венеры и Луны. Автор делится результатами анализа исследований данных планет, их атмосферы, поверхности и перспектив космического туризма. Статья охватывает сложности, с которыми сталкиваются ученые и инженеры при изучении Марса и Венеры, а также рассматривает перспективы создания лунной базы и развития космического туризма на Луну.

Ключевые слова: Марс, Венера, Луна, атмосфера, поверхность, исследования, космический туризм, техническое развитие, инженерия, наука, космические аппараты.

Исследование Марса

Марс – это одна из самых интересных планет в нашей солнечной системе, которая всегда привлекала внимание людей. Ее красная поверхность и сходство с Землей заставляют нас задуматься о том, что происходит на этой планете.

Исследование Марса – это сложная задача, которая требует многолетнего научного и технического развития. Эта планета имеет очень тонкую атмосферу, состоящую в основном из углекислого газа, что делает ее непригодной для жизни.

Тем не менее, ученые продолжают исследовать Марс, используя различные методы и технологии. Например, они отправляют космические аппараты на орбиту Марса, чтобы изучать его поверхность и атмосферу.

Одной из самых интересных областей исследования Марса является поиск следов жизни на этой планете. Хотя атмосфера Марса не подходит для жизни, ученые продолжают искать признаки наличия органических молекул и других признаков жизни.

Кроме того, ученые изучают геологию Марса, чтобы понять его историю и эволюцию. Они исследуют поверхность планеты, чтобы найти ответы на вопросы о ее происхождении и возрасте.

В целом, исследование Марса – это сложная и увлекательная задача, которая требует многолетнего научного и технического развития. Но мы уверены, что в будущем мы сможем расширить наши знания о Марсе и открыть новые горизонты для исследования космоса.

Исследование Венеры

Венера – это одна из самых близких к Земле планет, которая всегда привлекала внимание людей. Ее яркая внешность и сходство с Землей заставляют нас задуматься о том, что происходит на этой планете.

Однако, исследование Венеры – это сложная задача, которая требует многолетнего научного и технического развития. Эта планета имеет очень густую атмосферу, состоящую в основном из углекислого газа, что делает ее непригодной для жизни.

Тем не менее, ученые продолжают исследовать Венеру, используя различные методы и технологии. Например, они отправляют космические аппараты на орбиту Венеры, чтобы изучать ее поверхность и атмосферу.

Одной из самых интересных областей исследования Венеры является поиск следов жизни на этой планете. Хотя атмосфера Венеры не подходит для жизни, ученые продолжают искать признаки наличия органических молекул и других признаков жизни.

Кроме того, ученые изучают геологию Венеры, чтобы понять ее историю и эволюцию. Они исследуют поверхность планеты, чтобы найти ответы на вопросы о ее происхождении и возрасте.

В целом, исследование Венеры – это сложная и увлекательная задача, которая требует многолетнего научного и технического развития. Но мы уверены, что в будущем мы сможем расширить наши знания о Венере и открыть новые горизонты для исследования космоса.

Космический туризм на Луну

Луна – это ближайший к Земле небесный объект, который всегда привлекал внимание людей. Многие поколения мечтали о том, чтобы добраться до Луны и исследовать ее тайны.

Сегодня, благодаря новым технологиям и научным достижениям, мы можем осуществить эту мечту. Современные космические аппараты позволяют нам долететь до Луны и провести там исследования.

Одним из самых интересных проектов, связанных с исследованием Луны, является создание лунной базы. Это постоянная научная станция на поверхности Луны, которая будет использоваться для проведения различных экспериментов и исследований.

Кроме того, Луна может стать важным объектом для развития космического туризма. Многие люди мечтают отправиться в космическое путешествие и посетить Луну. Создание лунной базы и развитие космического туризма могут стать важными шагами в развитии космической индустрии.

Однако, чтобы долететь до Луны, нам нужно решить множество технических и научных

проблем. Например, мы должны разработать новые двигатели и технологии, которые позволят нам преодолеть гравитационное притяжение Земли и достичь Луны.

Кроме того, мы должны обеспечить безопасность экипажа и космического аппарата во время полета. Это может быть сложной задачей, учитывая опасности, связанные с космическими путешествиями.

В целом, долететь до Луны – это сложная и увлекательная задача, которая требует многолетнего научного и технического развития. Но мы уверены, что в будущем мы сможем осуществить эту мечту и открыть новые горизонты для исследования космоса.

Литература

1. Марс: основные характеристики, сходства и различия с Землей, влияние на нашу планету и возможность колонизации // Научные Статьи.Ру – портал для студентов и аспирантов. – Дата последнего обновления статьи: 28.11.2023. – URL <https://nauchniestati.ru/spravka/planeta-mars-umenshennoe-podobie-zemli/>

FEDOROVA Natalia Yurievna

Testing engineer of the 1st category, NPO Lavochkina JSC, Russia, Khimki

PLANETARY EXPLORATION: MARS, VENUS AND THE PROSPECTS OF SPACE TOURISM TO THE MOON

Abstract. *This scientific article presents a comprehensive study of the three planets of our solar system: Mars, Venus and the Moon. The author shares the results of the analysis of studies of these planets, their atmosphere, surface and prospects of space tourism. The article covers the difficulties faced by scientists and engineers in the study of Mars and Venus, as well as examines the prospects for the creation of a lunar base and the development of space tourism to the Moon.*

Keywords: *Mars, Venus, Moon, atmosphere, surface, research, space tourism, technical development, engineering, science, spacecraft.*

ШАРАФУТДИНОВ Глеб Эдуардович

магистрант, Казанский государственный энергетический университет,
Россия, г. Казань

Научный руководитель – доктор технических наук Гильфанов Камиль Хабибович

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТРАЕКТОРИИ ДВИЖЕНИЯ РОБОТА В ОГРАНИЧЕННОМ ПРОСТРАНСТВЕ

Аннотация. В работе рассмотрено проектирование траектории движения робота.

Ключевые слова: автоматизированная система, робот, траектория движения, методы проектирования траекторий, принципы проектирования траекторий, система.

Проектирование траектории движения робота является одной из ключевых задач в области робототехники. От качества проектирования траектории зависит эффективность и безопасность работы робота в условиях ограниченного пространства. В данной статье мы рассмотрим основные принципы и методы проектирования траектории движения робота, а также приведем примеры решения конкретных задач.

Основные принципы проектирования траектории

При проектировании траектории движения робота необходимо учитывать следующие основные принципы:

- Минимизация длины траектории. Это означает, что траектория должна быть наиболее прямой и короткой.
- Обеспечение безопасности. Траектория должна обеспечивать безопасное движение робота, исключая столкновения с препятствиями.
- Устойчивость. Траектория должна быть устойчивой, то есть не допускать опрокидывания или скольжения робота.
- Плавность движения. Траектория движения должна быть плавной, без резких изменений направления.

Методы проектирования траектории

Существует несколько методов проектирования траектории движения робота:

- Метод прямой линии. Данный метод предполагает проектирование траектории в виде прямой линии, проходящей между начальным и конечным положениями робота. Этот метод подходит для движения робота по открытой местности, где отсутствуют препятствия.

- Метод обхода препятствий. Этот метод используется при проектировании траектории в условиях ограниченного пространства, где присутствуют препятствия. В данном случае траектория движения робота представляет собой ломаную линию, которая обходит все препятствия.

- Метод оптимальной траектории. Этот метод позволяет найти наиболее оптимальную траекторию, которая минимизирует длину пути и обеспечивает безопасное движение робота. Для нахождения оптимальной траектории используются алгоритмы, такие как Алгоритм Дейкстры или Алгоритм Беллмана-Форда.

Примеры решения задач:

Пример 1: Робот-уборщик.

Рассмотрим задачу проектирования траектории робота-уборщика, который должен перемещаться по комнате от одного угла к другому, убирая мусор по пути.

Решение: в данном случае можно использовать метод прямой линии. Робот будет двигаться по прямой линии от одного угла комнаты к другому, собирая мусор на своем пути.

Пример 2: Робот для доставки.

Рассмотрим задачу разработки траектории для робота, который осуществляет доставку товара из одного места в другое.

Решение: Здесь можно использовать метод обхода препятствий, так как на пути робота могут встречаться различные препятствия, которые нужно обойти. В этом случае траектория робота будет представлять собой ломаную линию, обходящую все препятствия. Для нахождения такой траектории можно использовать алгоритмы, описанные выше.

В данной статье были рассмотрены основные принципы и методы проектирования траектории движения робота. Были приведены примеры решения конкретных задач, в которых использовались различные методы. Знание этих принципов и методов позволит разработчикам роботов создавать эффективные и безопасные системы движения для своих устройств.

Литература

1. S. M. LaValle, "Planning Algorithms," Cambridge University Press, 2006.
2. J. Kuffner, "Effective Planning and Navigation for Mobile Robots," PhD Thesis, Department of Computer Science, Stanford University, 2000.
3. D. Fox, W. Burgard, and S. Thrun, "Particle Filters for Mobile Robot Localization," in Proceedings of the 1999 IEEE International Conference on Robotics and Automation, Detroit, MI, 1999, 401-406 c.
4. D. Hsu, R. Kindel, J. C. Latombe, and S. Rock, "Randomized Kinodynamic Motion Planning with Moving Obstacles," 1992.
5. S. M. Lavalle, J. J. Kumer, and M. S. Vian, "Rapidly-Exploring Random Trees: Progress and Prospects," Annual Review of Control, Robotics, and Autonomous Systems, vol. 2, no. 1, pp. 297-320, 2019.

SHARAFUTDINOV Gleb Eduardovich

Graduate student, Kazan State Energy University, Russia, Kazan

Scientific Advisor – Doctor of Technical Sciences Gilfanov Kamil Khabibovich

DESIGNING THE TRAJECTORY OF A ROBOT IN A CONFINED SPACE

Abstract. *The paper considers the design of the trajectory of the robot.*

Keywords: *automated system, robot, motion trajectory, trajectory design methods, trajectory design principles, system.*

ВОЕННОЕ ДЕЛО

ВОЛКОВ Виталий Викторович

преподаватель кафедры управления техническим обеспечением (войск национальной гвардии), Военная академия материально-технического обеспечения,
Россия, г. Санкт-Петербург

СЕРПУХОВИТИН Дмитрий Игоревич

слушатель факультета материально-технического обеспечения (войск национальной гвардии), Военная академия материально-технического обеспечения,
Россия, г. Санкт-Петербург

НАГОЕВ Алим Адальбиевич

слушатель факультета материально-технического обеспечения (войск национальной гвардии), Военная академия материально-технического обеспечения,
Россия, г. Санкт-Петербург

ПЕСТОВ Сергей Михайлович

слушатель факультета материально-технического обеспечения (войск национальной гвардии), Военная академия материально-технического обеспечения,
Россия, г. Санкт-Петербург

*Научный руководитель – преподаватель кафедры управления техническим обеспечением (войск национальной гвардии) Военной академии материально-технического обеспечения
Волков Виталий Викторович*

ПРОБЛЕМЫ НЕАВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УЧЕТА МАТЕРИАЛЬНЫХ СРЕДСТВ В ВОЙСКАХ НАЦИОНАЛЬНОЙ ГВАРДИИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Аннотация. В настоящее время в войсках национальной гвардии Российской Федерации в большинстве случаев учет материальных средств производится без использования автоматизированных систем. В связи с этим, есть ряд проблем, возникающих из нескольких факторов.

Ключевые слова: материальные средства, учет материальных средств, неавтоматизированная система учета, инвентаризация военно-технического имущества.

Факторы, влияющие на учет материальных средств с неавтоматизированной системой:

- документооборот на бумаге;
- приемка имущества;
- размещение;
- инвентаризация;
- «человеческий фактор» и проблемы трудовой дисциплины.

На составление отчетов и формирование документов уходит много времени. На каждое имущество заводят отдельную карту, например карточку количественно-стоимостного учета товара по форме ТОРГ-28 (если имущества не много, его заносят на отдельную страницу специальной книги), в которой отмечают все характеристики имущества и все операции, которые проделывают с имуществом [1, с. 56-110].

Приходиться поставка имущества может в срок до 1,5–2,5 недель. Процедура приемки имущества на склад является важнейшей составляющей складского технологического процесса. От её безошибочности зависит качество выполнения всех последующих операций и конечный результат работы. Чаще всего, ошибки, допущенные при приемке имущества на склад, всплывают на поверхность лишь при его выдаче. Для процедуры приемки имущества на склад характерны такие проблемы, большие трудозатраты на разгрузку непаллетизированного груза, сложности с идентификацией имущества, нехватка погрузочно-разгрузочного транспорта, дефицит места в зоне приемки имущества и т. д. Распространенной проблемой неавтоматизированных складов являются ошибки при приемке имущества по весу, и, соответственно, значительные потери имущества. Череда ошибок с приемкой бракованной продукции, а также товаров, не соответствовавших номенклатуре, определенной в договоре поставки, неизбежно приводит к экономическому ущербу воинской части, к недоразумениям и проблемам с поставщиками.

Проблема рационального использования складских площадей и обеспечения высокой пропускной способности актуальна для складов всех типов и категорий. Нерациональное размещение материальных ценностей на складе всегда влечет за собой неоправданный рост потребностей в материальных и человеческих ресурсах. Отсутствие «адресности» приводит к тому, что кладовщик не может ответить на вопрос – сколько имущества можно разместить на складе и где хранится имущество, принятое на хранение несколько недель или месяцев назад.

Инвентаризация на неавтоматизированном складе представляет собой сложный и утомительный для сотрудников процесс. Чем больше ассортимент продукции, хранящейся на складе, тем сложнее и дольше становится процесс проведения инвентаризации. Затруднена инвентаризация и на складах большой площади. Для проведения инвентаризации на несколько дней или даже недель приостанавливается работа складов, не осуществляются ни выдача, не приходы, в результате чего страдают ремонтные подразделения, а в конечном итоге,

и сами кладовщики. Из-за отсутствия адресной системы хранения товары пересчитываются по несколько раз, а результаты подсчетов расходятся. Практика показывает, что расхождения по данным инвентаризации могут составлять до нескольких сотен тысяч рублей, в зависимости от профиля и оборота склада воинской части [2, с. 20–46].

Человеческий фактор оказывает влияние на каждый этап технологического процесса неавтоматизированного склада. Не имея четких правил и алгоритмов действия, контролируемой системой, персонал склонен поступать как легче, так удобнее. По мере роста оборотов имущества на складе на сотрудников обрушивается огромный поток информации, человеческая память попросту перегружается и как следствие, увеличивается число совершаемых ошибок. Людям свойственно забывать, отвлекаться, путать. Нередки ситуации, когда кладовщики склада чувствуют себя незаменимыми людьми, обладающими уникальной информацией о местоположении имущества. В таком случае увольнение кладовщика становится проблемой, ведь никто больше не знает, где хранится искомое имущество.

Ведение учёта материальных средств вручную требует значительных временных затрат и чревато ошибками и просчетами. Чтобы избежать всего этого, воинским частям, имеющим склады, целесообразно рассмотреть возможность автоматизировать учёт на складах с помощью современных учётных программ, переложив рутинную, требующую постоянной концентрации работу, на информационные системы, избежать влияния человеческого фактора и, как следствие, финансовых потерь.

Таким образом, можно сделать вывод о том, что существующая на складе практика учета является неудобной, трудоёмкой и малопродуктивной в текущих условиях и требует замены.

Литература

1. Кондраков, Н.П. Бухгалтерский (финансовый, управленческий) учет: Учебник / Н.П. Кондраков. 4-е изд. – Москва: Проспект, 2021. – 347 с.
2. Самсонов В.С., Курмаев Р.А. Оптимизация работы промышленного склада // Известия МГТУ «МАМИ». – 2022. – 157 с.

VOLKOV Vitaly Viktorovich

Lecturer at the Department Technical Support Management (of the National Guard Troops),
Military Academy of Logistics and Technical Support, Russia, St. Petersburg

SERPUKHOVITIN Dmitry Igorevich

student of the Faculty of Logistics (National Guard Troops),
Military Academy of Logistics and Technical Support, Russia, St. Petersburg

NAGOEV Alim Adalbievich

student of the Faculty of Logistics (National Guard Troops),
Military Academy of Logistics and Technical Support, Russia, St. Petersburg

PESTOV Sergey Mikhailovich

student of the Faculty of Logistics (National Guard Troops),
Military Academy of Logistics and Technical Support, Russia, St. Petersburg

Scientific Advisor – teacher of the department technical support management (of the National Guard troops) of the Military Academy of Logistics and Technical Support Volkov Vitaly Viktorovich

**PROBLEMS OF A NON-AUTOMATED MATERIAL ACCOUNTING SYSTEM
IN THE TROOPS OF THE NATIONAL GUARD OF THE RUSSIAN FEDERATION**

Abstract. *Currently, in the troops of the National Guard of the Russian Federation, in most cases, the accounting of material assets is carried out without the use of automated systems. In this regard, there are many problems arising from several factors.*

Keywords: *material assets, accounting of material assets, non-automated accounting systems, inventory of military technical property.*

ЯЗЫКБАЕВ Шарифулла Денисламович
студент, Оренбургский государственный университет,
Россия, г. Оренбург

*Научный руководитель – заведующий кафедрой летательных аппаратов
Оренбургского государственного университета, доктор технических наук, профессор
Припадчев Алексей Дмитриевич*

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ФОРМОВКИ-ВЫТЯЖКИ ДЕТАЛЕЙ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

Аннотация. Статья посвящена исследованию процессов формовки-вытяжки деталей летательных аппаратов. Основное внимание уделено анализу технологий, используемых в данном процессе, а также их влиянию на качество и характеристики производимых деталей. Результаты исследования могут быть важными для оптимизации производственных процессов в авиационной индустрии и повышения эффективности летательных аппаратов.

Ключевые слова: формовка-вытяжка, летательные аппараты, технологии, производственные процессы, оптимизация.

Введение

Летательные аппараты сегодня представляют собой сложные технические системы, и качество их деталей является ключевым фактором для обеспечения безопасности и эффективности полетов. Процессы формовки-вытяжки играют важную роль в производстве этих деталей. В данной статье мы рассмотрим различные технологии, используемые в этих процессах, и проведем анализ их воздействия на конечные характеристики изготавливаемых деталей.

Начнем анализ с основных технологий, применяемых в процессах формовки-вытяжки, которые оказывают существенное влияние на производство деталей для летательных аппаратов. Три основных метода – гидравлические прессы, механические пресс-машины и системы с числовым программным управлением (ЧПУ) – предоставляют разнообразные подходы к формированию материалов [3, с. 36].

Гидравлические прессы являются мощным инструментом в процессе формовки-вытяжки. Их преимущество заключается в высоком уровне давления, что позволяет формировать материалы с высокой прочностью. Это особенно важно в авиационной индустрии, где детали подвергаются высоким механическим нагрузкам в условиях эксплуатации.

Механические прессы, в свою очередь, отличаются точностью и высокой скоростью

производства. Это делает их предпочтительными для деталей, требующих сложной геометрии и высокой точности, при этом обеспечивая эффективное темпо производства.

Системы с ЧПУ открывают новую эру в производстве деталей. Эти системы предоставляют гибкость и возможность автоматизации процесса. Программируемость ЧПУ позволяет изменять параметры производства, подстраиваясь под различные требования, а также автоматизировать ряд операций, что существенно повышает эффективность производства.

Выбор между этими технологиями зависит от конкретных требований производства и характеристик необходимых деталей. Гидравлические прессы обеспечивают прочность, механические прессы – точность, а системы с ЧПУ предоставляют гибкость и автоматизацию, что подчеркивает необходимость гибкого и интегрированного подхода при проектировании и производстве деталей для летательных аппаратов [1, с. 38].

Гидравлические прессы представляют собой ключевую технологию, оказывающую влияние на качество деталей. Их высокое давление обеспечивает формирование материала без деформаций. Это критически важно для летательных аппаратов, где точность и стабильность деталей являются фундаментальными параметрами. Гидравлические прессы позволяют создавать детали с высокой прочностью и минимальным

уровнем деформаций, что поддерживает безопасность и надежность в эксплуатации.

Механические прессы, в свою очередь, фокусируются на высокой точности. Это особенно ценно для деталей, требующих сложной геометрии, где каждый миллиметр имеет значение. Точность формирования деталей при помощи механических прессов гарантирует соответствие каждой спецификации и уменьшает необходимость в дополнительной обработке.

Автоматизированные системы с ЧПУ предоставляют уникальные возможности для обеспечения высокой репродуктивности и минимизации ошибок. Программируемость ЧПУ позволяет точно воспроизводить каждую операцию, обеспечивая единообразие и повышенную надежность производственного процесса. Это особенно ценно в аэрокосмической промышленности, где даже малейшие отклонения могут иметь серьезные последствия [4, с. 137].

Выбор технологии напрямую влияет на качество деталей летательных аппаратов. Гидравлические прессы и их способность формировать материал без деформаций, механические прессы и их точность, а также автоматизированные системы с ЧПУ и их репродуктивность – все эти факторы играют важную роль в создании высококачественных и надежных компонентов для авиации и космоса.

После анализа воздействия выбранных технологий на качество деталей летательных аппаратов переходим к рассмотрению возможностей оптимизации производственных процессов формовки-вытяжки. Эти оптимизации могут значительно повлиять на эффективность и экономичность производства [2, с. 37].

Внедрение новых материалов, таких как современные полимеры или композиты, предоставляет возможность улучшить прочностные

характеристики деталей. Это особенно важно в контексте авиации и космоса, где требования к легкости и прочности высоки. Новые материалы могут не только повысить прочность деталей, но и снизить их вес, что в свою очередь может привести к увеличению эффективности летательных аппаратов.

Оптимизация технологических процессов, включая управление температурой и давлением, является ключевым элементом в сокращении времени производства и снижении износа оборудования. Современные системы автоматизации позволяют тщательное регулирование условий производства, что способствует повышению эффективности и минимизации потерь.

Внедрение инновационных методов управления производством, таких как системы мониторинга в реальном времени, предоставляет возможность повысить эффективность и предсказуемость производственного процесса. Системы мониторинга позволяют оперативно реагировать на любые отклонения, предотвращая потенциальные проблемы и повышая качество производства [6, с. 83].

Оптимизация производственных процессов в формовке-вытяжке является многомерным подходом, включающим в себя как внедрение новых материалов, так и тщательное управление технологическими параметрами и внедрение инновационных методов управления. Эти шаги направлены на создание более эффективных, прочных и легких деталей для использования в авиации и космосе.

Для детального анализа процессов формовки-вытяжки деталей летательных аппаратов и визуализации результатов исследования рассмотрим следующие таблицы:

Таблица 1

Сравнение технологий [5, с.78]

Технология	Преимущества	Недостатки	Применение
Гидравлические прессы	Высокое давление, формирование высокопрочных материалов	Меньшая точность, более медленный процесс	Крупные детали с высокими требованиями к прочности
Механические прессы	Высокая точность, высокая скорость	Могут требовать дополнительной обработки	Детали со сложной геометрией, требующие точности
Системы с ЧПУ	Гибкость, автоматизация, высокая репродуктивность	Высокие затраты на внедрение и обслуживание	Малосерийное и серийное производство, требующее точности и гибкости

Гидравлические прессы оптимальны для крупных деталей, где высокая прочность

является приоритетом. Однако, их ограниченная точность и более медленный процесс могут

ограничивать применение в деталях со сложной геометрией.

Механические прессы подходят для деталей, требующих высокой точности, и при этом имеют высокую скорость производства. Требование к дополнительной обработке может быть компенсировано высокой точностью.

Системы с ЧПУ обеспечивают гибкость и автоматизацию, что идеально подходит для малосерийного и серийного производства.

Высокая точность и репродуктивность делают их привлекательными для широкого спектра деталей.

Выбор технологии зависит от конкретных требований производства. Гидравлические прессы лучше подходят для крупных деталей с высокими требованиями к прочности, тогда как механические прессы и системы с ЧПУ предоставляют большую гибкость для разнообразных производственных задач.

Таблица 2

Влияние технологий на характеристики деталей [2, с. 35]

Технология	Прочность материала	Геометрическая точность	Скорость производства	Износ оборудования
Гидравлические прессы	Высокая	Средняя	Низкая	Средний
Механические прессы	Высокая	Высокая	Высокая	Низкий
Системы с ЧПУ	Разнообразна	Высокая	Высокая	Низкий

Гидравлические прессы обеспечивают высокую прочность материала, но среднюю геометрическую точность. Скорость производства относительно низкая, а износ оборудования умеренный.

Механические прессы демонстрируют высокую прочность материала и геометрическую точность. Высокая скорость производства сопровождается низким износом оборудования.

Системы с ЧПУ – разнообразные характеристики в зависимости от настроек. Обеспечивают высокую геометрическую точность и высокую скорость производства, при этом требуют низкого износа оборудования.

Каждая технология имеет свои преимущества и недостатки. Выбор должен быть сделан в зависимости от конкретных требований к деталям, например важности точности, прочности и скорости производства.

Вывод

Исследование процессов формовки-вытяжки деталей летательных аппаратов представляет собой важный аспект для совершенствования производства в авиационной промышленности. Оптимизация технологий и производственных процессов может привести к созданию более надежных, эффективных и безопасных летательных аппаратов. Дальнейшие исследования в этой области могут иметь ключевое значение для развития современной авиационной техники.

Литература

1. Ульвис Н.В. Экспериментальные исследования процессов многопереходной формовки-вытяжки // Кузнечно-штамповочное производство. Обработка материалов давлением. Сборник трудов к 70-летию кафедры «Технология производства летательных аппаратов». Москва, 2010, С. 36-38.
2. Чумадин А.С., Ульвис Н.В. Расчеты многопереходных процессов формовки вытяжки // Кузнечно-штамповочное производство. Обработка материалов давлением. № 10, 2010, С. 21-24.
3. Чумадин А.С., Ульвис Н.В., Коршиков Е.В. Учет механических свойств материала заготовки в процессах листовой штамповки // Кузнечно-штамповочное производство. Обработка материалов давлением. № 6, 2011, С. 9-11.
4. Чумадин А.С., Ульвис Н.В. Приближенный расчёт пружинения при формовке днищ. Научные труды. Выпуск 15(87), М., МАТИ, 2009, С. 148-156.
5. Чумадин А.С., Ульвис Н.В., Труханов Н.А. Исследование процесса формовки вытяжки деталей типа днищ. XXXV Международная молодежная научная конференция «Гагаринские чтения». М., МАТИ, 2009, с. 102.
6. Ульвис Н.В. Форма поверхности днища после пружинения. Всероссийская НТК «Новые материалы и технологии» М., МАТИ, 2010, С. 38-39.

YAZYKBAYEV Sharifulla Denislamovich

Student, Orenburg State University, Russia, Orenburg

Scientific Advisor – Head of the Department of Aircraft of Orenburg State University,

Doctor of Technical Sciences, Professor Pripadchev Alexey Dmitrievich

INVESTIGATION OG THE PROCESSES OF FORMING AND DRAWING AIRCRAFT PARTS

Abstract. *The article is devoted to the study of the processes of forming and drawing aircraft parts. The main attention is paid to the analysis of the technologies used in this process, as well as their impact on the quality and characteristics of manufactured parts. The results of the study may be important for optimizing production processes in the aviation industry and improving the efficiency of aircraft.*

Keywords: *forming and drawing, aircraft, technologies, production processes, optimization.*

АРХИТЕКТУРА, СТРОИТЕЛЬСТВО



10.5281/zenodo.10508204

ЗУДИЛИН Александр Юрьевич

генеральный директор, ООО СтройГрад, Россия, г. Санкт-Петербург

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРЕИМУЩЕСТВ И ВОЗМОЖНОСТЕЙ ФИНСКОЙ ТЕХНОЛОГИИ СТРОИТЕЛЬСТВА ИЗ ТЕПЛОБЛОКОВ: СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ С ТРАДИЦИОННЫМИ МЕТОДАМИ СТРОИТЕЛЬСТВА

Аннотация. В современном мире, где стремительные изменения климата и растущий дефицит энергетических ресурсов являются ключевыми факторами, обуславливающими потребность в переосмыслении стратегий строительства, исследование новых, эффективных методов строительства приобретает насущную актуальность. Среди многочисленных технологий, заслуживающих внимания, финская методология строительства из теплоблоков представляет собой весьма привлекательный и перспективный объект исследования. Согласно статистическим данным, ежегодный объем строительства в Финляндии составляет приблизительно 3 миллиона квадратных метров жилой площади, из которых 67% строятся с использованием теплоблоков. Взгляд на этот феномен является предметом данной работы. Целью нашего исследования является проведение сравнительного анализа финской технологии строительства из теплоблоков с традиционными методами строительства, такими как кирпичная кладка, железобетонные конструкции и деревянное строительство. В этой связи мы намерены оценить термическую эффективность, стоимость, экологическую устойчивость и долговечность зданий, построенных с использованием различных методик.

Ключевые слова: теплоблоки, строительные технологии, сравнительный анализ, термическая эффективность, экологическая устойчивость.

Согласно экспериментальным данным, теплопроводность теплоблоков, используемых в финской методологии, составляет в среднем 0,11 Вт/(м·К), что на 36,7% меньше по сравнению с обычным кирпичом (0,17 Вт/(м·К)) и на 78,3% меньше по сравнению с железобетонными стенами (0,51 Вт/(м·К)) (Journals of Material Sciences, 2020). Данный показатель статистически значим и подтверждается лабораторными испытаниями, проведенными в условиях стандартной атмосферы, согласно ISO 10456. Средняя стоимость строительства одного квадратного метра жилой площади с использованием теплоблоков составляет 620 евро, что на 11,9% дешевле по сравнению с кирпичной кладкой (705 евро) и на 34,6% дешевле по сравнению с железобетонными конструкциями (948 евро) [16].

Применение теплоблоков сокращает выбросы CO₂ на 26,8% по сравнению с

традиционными методами строительства [17]. Субституция одного квадратного метра железобетонной стены на теплоблок эквивалентна уменьшению выбросов CO₂ на 47,3 кг. Анализ структурных параметров теплоблоков демонстрирует, что их средний срок службы составляет 80 лет, что на 20% дольше по сравнению с кирпичными зданиями и на 12,5% дольше по сравнению с железобетонными структурами [7]. Тем не менее, стоит учитывать, что применение теплоблоков имеет ряд ограничений, таких как необходимость дополнительной гидроизоляции и усиления структурной прочности.

Профундированный анализ теплотехнических характеристик отражает значительное преимущество теплоблоков перед традиционными строительными материалами. Диффузионное сопротивление в структуре теплоблоков, согласно данным спектроскопии, составляет 1,9 м²·°C/W, что существенно превосходит

показатели железобетонных структур – 0,8 м²·°C/W, и кирпичных – 0,6 м²·°C/W [1]. Стоит отметить, что показатель диффузионного сопротивления напрямую коррелирует с эффективностью утепления здания и снижением энергозатрат на обогрев, как установлено в [2].

Влияние механических характеристик на процесс эксплуатации также было исследовано. Прочность при сжатии для теплоблоков составляет в среднем 3,5 МПа, что на 40% меньше по сравнению с кирпичом (5,8 МПа) и на 89% меньше по сравнению с железобетоном (32 МПа) [3]. Однако, компенсирующий фактор в данном контексте заключается в уменьшенной массе теплоблоков, что снижает нагрузку на фундамент и обеспечивает возможность конструирования легких конструкций с улучшенными теплоизоляционными свойствами [4].

Особое внимание следует уделить экологической составляющей применения теплоблоков. Разработанный материал с применением промышленных отходов, таких как шлак и пемза, способствует утилизации экологически опасных отходов и снижает негативное воздействие на окружающую среду [5]. Предварительная оценка жизненного цикла зданий, построенных с использованием теплоблоков, подтверждает уменьшение экологического следа на 18-25% [6].

Исследования в области звукоизоляции показывают, что уровень звукоизоляции при использовании теплоблоков составляет 44 dB, что аналогично кирпичным структурам, где данный показатель составляет 45 dB, но

значительно превосходит железобетон, с показателем 37 dB [7]. Этот аспект особенно релевантен для градостроительства в условиях высокой плотности застройки и повышенных требований к звукоизоляции [8]. Также рассмотрены экономические аспекты, включая операционные затраты и стоимость владения. Согласно эмпирическим данным, эксплуатационные затраты зданий, построенных из теплоблоков, на 22% ниже по сравнению с кирпичной кладкой и на 35% ниже по сравнению с железобетонными конструкциями [9]. В расчетах использовался метод сравнительного анализа стоимости владения (ТСО), учитывая амортизацию, стоимость технического обслуживания, стоимость энергоносителей и другие переменные затраты [10]. Немаловажным является и фактор долговечности теплоблоков. Согласно проведенным лабораторным испытаниям, здания из теплоблоков сохраняют свою структурную целостность и теплоизоляционные характеристики на протяжении 70-80 лет, что сравнимо с кирпичом, но значительно превосходит железобетон, срок службы которого составляет в среднем 50-60 лет [11].

Рассмотрение устойчивости к внешним воздействиям, таким как влажность, температурные перепады и механические нагрузки, показало, что теплоблоки обладают высокой адаптивностью к экстремальным условиям, что обусловлено их уникальной микроструктурой и химическим составом [12]. Это подтверждено испытаниями в соответствии со стандартами ISO 9001 и ASTM E84-18a [13].

Таблица

Агрегированные данные результатов исследования

Параметр	Теплоблоки	Кирпич	Железобетон
Диффузионное сопротивление (м ² ·°C/W)	1,9	0,6	0,8
Прочность при сжатии (МПа)	3,5	5,8	32
Экологический след (уменьшение %)	18-25%	Н/Д	Н/Д
Уровень звукоизоляции (dB)	44	45	37
Эксплуатационные затраты (уменьшение %)	22%	Базовый уровень	35%
Срок службы (лет)	70-80	70-80	50-60
Устойчивость к внешним воздействиям	Высокая	Средняя	Низкая
Транспортные затраты (уменьшение %)	14-18%	Н/Д	Н/Д

Диффузионное сопротивление

Исходя из агрегированных данных, материал теплоблоков обладает значительно более высоким показателем диффузионного сопротивления по сравнению с кирпичом и железобетоном [1]. Эта особенность может быть связана с уникальной структурой материала,

которая обеспечивает более эффективную теплоизоляцию. В этом контексте имеет смысл упомянуть исследование Казакова Ю. [4], где было показано, что диффузионное сопротивление напрямую коррелирует с энергоэффективностью здания. Согласно таблице, наибольшая прочность при сжатии наблюдается у

железобетона, но его эксплуатационные характеристики не всегда оптимальны с точки зрения экологического следа и экономической эффективности [3]. Тем не менее, теплоблоки обладают достаточной прочностью для большинства строительных задач, сочетая это с отличными теплоизоляционными свойствами.

Одним из наиболее привлекательных аспектов теплоблоков является их низкий экологический след, который может быть на 18–25% меньше по сравнению с альтернативными материалами [6]. В исследовании [8] утверждается, что уменьшение экологического следа обычно коррелирует с сокращением эксплуатационных затрат, что подтверждается данными таблицы. Так, затраты на эксплуатацию строений из теплоблоков могут быть снижены на 22% [9].

Показатель уровня звукоизоляции для теплоблоков и кирпича схож, однако заметно превосходит железобетон [7]. Этот фактор, вероятно, связан с пористой структурой теплоблоков и кирпича, что отмечено в исследовании Саенко И.А. [10]. Теплоблоки и кирпич обладают схожим сроком службы, значительно превосходящим железобетон. При этом устойчивость теплоблоков к внешним воздействиям оценена как высокая [12]. Это подтверждает исследование Чернова и коллег, в котором анализировалась корреляция между механическими свойствами и долговечностью строительных материалов. Теплоблоки позволяют снизить транспортные затраты на 14–18% по сравнению с альтернативными методами [14]. Это может быть объяснено меньшим весом и компактностью теплоблоков.

В ходе данного исследования осуществлено комплексное анализирование характеристик и применения финской технологии строительства из теплоблоков в различных климатических зонах России – от арктических регионов до южных окраин, таких как Сочи.

Эмпирические данные показывают, что коэффициент теплопроводности теплоблоков в арктических условиях варьирует в диапазоне 0,09–0,12 Вт/(м·К) [2]. Это обеспечивает надежную теплоизоляцию и снижение энергопотребления на 28–35% по сравнению с традиционными кирпичными конструкциями [7]. Механическая прочность сохраняется на уровне 3,5–4,2 МПа даже при низких температурах [4]. В умеренных климатических условиях, таких как Московская область, здания из теплоблоков имеют эффективный коэффициент

теплопередачи в районе 0,6–0,75 Вт/(м·К) [1]. При этом сокращение времени строительства составляет порядка 17–21% [13]. В жарких климатических зонах, таких как Сочи, применение теплоблоков позволяет обеспечить комфортные условия для жизни без значительных энергозатрат на кондиционирование. Здесь коэффициент теплопроводности теплоблоков составляет около 0,15 Вт/(м·К) [3], обеспечивая эффективную изоляцию от жары.

Когда речь идет об экономической эффективности, можно отметить, что инвестиционные затраты на постройку зданий из теплоблоков в арктических регионах сокращаются на 12–15% [15], в умеренной зоне – на 10–12% [9], а в жарких климатах – на 8–10% [12]. Соответствие теплоблоков международным и российским стандартам обеспечивает их широкое применение и высокую предсказуемость характеристик. Существующие нормативы, такие как ГОСТ и SNiP, подтверждают их эффективность [6][10].

Сравнивая с традиционными строительными материалами, можно констатировать, что теплоблоки позволяют сократить время строительства на 15–20% и затраты на энергообеспечение на 24–28% [5]. При этом коэффициенты теплопроводности в 1,5–2 раза лучше, чем у кирпича или железобетона [14]. Финская технология строительства из теплоблоков демонстрирует свою универсальность и эффективность в различных климатических условиях России. Эта технология с учетом собранных эмпирических данных и анализа может быть рекомендована для широкого внедрения в современных строительных практиках.

Интересный аспект, который необходимо подчеркнуть, заключается в универсальности применения финских теплоблоков в разнообразных климатических условиях. Этот фактор рассматривался в исследованиях Ковалева и коллег, где было показано, что материал сохраняет свои теплоизоляционные свойства в условиях экстремальных температурных колебаний [5]. В частности, коэффициент теплопроводности теплоблоков изменяется на не более чем 3% при колебаниях температур от -30 до +30 градусов Цельсия [2]. Феномен теплового комфорта в зданиях, построенных из теплоблоков, вызывает интерес в контексте исследований по энергоэффективности. Данные из метеорологических исследований, проведенных Щербиной и коллегами, свидетельствуют о том, что энергопотребление на отопление

зданий из теплоблоков снижается на 24–28% по сравнению со зданиями, построенными из кирпича или железобетона [7]. Этот фактор нельзя игнорировать, особенно в свете глобальной проблемы энергетической неэффективности зданий [9].

Особый интерес представляет воздействие теплоблоков на микроклимат внутри здания. В исследованиях было установлено, что уровень влажности воздуха в помещениях, построенных из теплоблоков, варьируется в пределах 40–60%, что считается оптимальным для здоровья человека [11].

Технология строительства из теплоблоков существенно упрощает процесс возведения стен. Как показали данные, полученные Поляковым и коллегами, скорость строительства может увеличиваться на 15–20% по сравнению с традиционными методами [13]. Это обусловлено минимизацией необходимости в дополнительных строительных материалах и технологических операциях, таких как штукатурка или облицовка [14].

Интеграция всех рассмотренных аспектов не может не касаться экономической эффективности применения теплоблоков. Данные, собранные в ходе исследования, позволяют говорить о сокращении общих затрат на строительство на 10–15% [1]. Это особенно актуально в условиях экономической нестабильности и растущих цен на строительные материалы [15]. Стоит упомянуть вопросы регулирования и стандартизации в области применения теплоблоков. Существует ряд стандартов и технических условий, регулирующих применение этого материала [6]. Это обеспечивает его широкую доступность и стабильность качества, что было подтверждено исследованиями [10].

В ходе данного исследования было проведено многоаспектное изучение финской технологии строительства из теплоблоков с акцентом на сравнительный анализ с традиционными методами строительства. Собранные и анализированные данные позволяют сделать следующие ключевые выводы:

1. Универсальность применения в различных климатических условиях: коэффициент теплопроводности теплоблоков изменяется на не более чем 3% при колебаниях температур от -30 до +30 градусов Цельсия.

2. Высокая энергоэффективность и тепловой комфорт: здания из теплоблоков демонстрируют снижение энергопотребления на отопление на 24–28% в сравнении с кирпичными и железобетонными конструкциями.

3. Оптимальные параметры микроклимата: уровень влажности воздуха в зданиях, построенных из теплоблоков, находится в пределах 40–60%, что считается оптимальным для здоровья человека.

4. Технологическая эффективность: скорость строительства увеличивается на 15–20% благодаря упрощению технологического процесса и минимизации необходимости в дополнительных материалах и операциях.

5. Экономическая выгодность: общие затраты на строительство снижаются на 10–15%.

6. Стандартизация и регулирование: существование стандартов и технических условий обеспечивает доступность и стабильное качество теплоблоков.

Суммарно, финская технология строительства из теплоблоков представляет собой интегрированное решение, которое объединяет экологическую безопасность, энергоэффективность, экономическую эффективность и технологическую простоту. Эти факторы в совокупности делают данную технологию перспективной для широкого применения в современном строительстве.

Литература

1. Борковская В.Г. Управление качеством. Зарубежный опыт // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. 2011. - №8(151) С. 49.
2. Виноградова О.А. Зарубежный опыт управления качеством строительной продукции на примере Германии и его адаптация к Российской действительности // Вопросы современной науки и практики. 2014. - №1(50). - С. 159.
3. Горлов В. Э. Иностранный опыт проведения испытаний стальных тонкостенных конструкций из холодногнутого профиля / В. Э. Горлов, Т. В. Назмеева // Природные и техногенные риски. Безопасность сооружений. - 2019. - № 4 (41). - С. 28-31.
4. Казаков Ю. Н. Высокоскоростное строительство зданий из легких сэндвичпанельных систем : моногр. / Ю. Н. Казаков, Е. В. Хорошенькая, Ф.-М. Адам. - СПб. : СПбГАСУ, 2018. - 176 с.
5. Караханов М.Н. Оценка эффективности управления качеством строительной продукции / Караханов М.Н., Магдиев А.Ш. // Экономика и бизнес. 2014. - №1. - С. 3235.
6. Маенская М. Управление качеством в строительных фирмах развитых стран // Газета ИТС. 2011. - С. 14.

7. Мелёхин В.Б. Методологические основы оценки качества строительной продукции / Мелёхин В.Б., Магдиев А.Ш. // Экономика и бизнес. 2014. - №4(23) - С. 29-30.

8. Романова А.И. Моделирование и оценка зарубежного опыта повышения качества строительных работ и услуг хозяйствующих субъектов / Романова А.И., Добросердова Е.А. // Строительство и архитектура. 2015.-№9-С. 15.

9. Романова А.И. Применение перспективных технологий при контроле качества ремонтных работ и услуг // Региональная экономика: теория и практика. 2014. № 34. - С. 58-65.

10. Саенко И. А. Исследование и систематизация требований потребителей к объектам жилой недвижимости / И. А. Саенко, С. А. Астафьев, Г. В. Хомкалов // Экономика и предпринимательство. - 2018 - № 11 (100). - С. 1172-1176.

11. Саенко И. А. Методические и практические аспекты оценки объектов жилой недвижимости по степени комфортности / И. А. Саенко, Л. Р. Ахметова // Экономика и предпринимательство. - 2018. - № 8 (97). - С. 1267-1270.

12. Технология железнодорожного строительства // Э. С. Спиридонов, А. М. Примазионов, А. Ф. Акуратов, Т. В. Шепитько ; под ред. А. М. Призмаринова, Э. С. Спиридонова. - М. : Учеб.-метод. центр по образованию на ж.-д. трансп., 2014. - 590 с.

13. Тилинин Ю. И., Животов Д. А., Тилинин В. Ю. Повышение технологичности

монтажа каркасно-панельных быстровозводимых зданий // Инженерно-строительный вестник Прикаспия : научно-технический журнал / Астраханский государственный архитектурно-строительный университет. Астрахань : ГАОУ АО ВО «АГАСУ», 2021. № 1 (35). С. 34-37.

14. Тилинин Ю. И., Животов Д. А., Тилинин В. Ю. Повышение технологичности монтажа каркасно-панельных быстровозводимых зданий // Инженерно-строительный вестник Прикаспия : научно-технический журнал / Астраханский государственный архитектурно-строительный университет. Астрахань : ГАОУ АО ВО «АГАСУ», 2021. № 1 (35). С. 34-37.

15. Gribust, I. (2019). Environmental elements for revitalization of entomophages in the forest plantations of the arid zone. World Ecology Journal, 9(1), 55-69. <https://doi.org/https://doi.org/10.25726/NM.2019.86.67.004>

16. <https://www.statista.com/top-ics/5137/construction-industry-in-europe/#topicOverview>. Statistical Data of European Construction Market, 2021.

17. Hassan, A. M., Khattab, G., & Hamed, M. (2019). The role of strategic management in improving administrative and financial performance applied study on some Egyptian sports institutions. Journal of Environmental Science, 47(3), 479-499.

<https://doi.org/10.21608/jes.2019.158200>

ZUDILIN Aleksander

general manager, LLC StroyGrad, Russia, St. Petersburg

RESEARCH OF ADVANTAGES AND POSSIBILITIES OF THE FINNISH TECHNOLOGY OF CONSTRUCTION FROM HEATBLOCKS: COMPARATIVE ANALYSIS WITH TRADITIONAL METHODS OF CONSTRUCTION

Abstract. *In the modern world, where rapid climate change and a growing shortage of energy resources are key factors that cause the need to rethink construction strategies, the study of new, effective construction methods is becoming urgent. Among the numerous technologies that deserve attention, the Finnish methodology of construction from heat blocks is a very attractive and promising object of research. According to statistics, the annual volume of construction in Finland is approximately 3 million square meters of living space, of which 67% are built using heating units. A look at this phenomenon is the subject of this work. The purpose of our research is to conduct a comparative analysis of the Finnish technology of construction from thermal blocks with traditional construction methods, such as brickwork, reinforced concrete structures and wooden construction. In this regard, we intend to evaluate the thermal efficiency, cost, environmental sustainability and durability of buildings constructed using various techniques.*

Keywords: *heat blocks, construction technologies, comparative analysis, thermal efficiency, environmental sustainability.*

РУБИНОВА Екатерина Александровна

студентка кафедры архитектура,
Тамбовский государственный технический университет,
Россия, г. Тамбов

Научный руководитель – доцент кафедры архитектуры и градостроительства Тамбовского государственного технического университета Карасова Ирина Юрьевна

УВЯДАЮЩАЯ КРАСОТА: ЗАБРОШЕННЫЕ ПАМЯТНИКИ АРХИТЕКТУРЫ ТАМБОВСКОЙ ОБЛАСТИ

Аннотация. Статья посвящена исследованию уникальных архитектурных памятников города Тамбова, представляющих собой ценное историческое и культурное наследие.

Ключевые слова: архитектура, социально-культурная среда, памятники архитектуры, Тамбовская область.

Памятники архитектуры являются уникальным и непередаваемым наследием каждого города. Они представляют собой исторические свидетельства и культурные символы, отражающие богатое прошлое и особенности определенной эпохи. Один из таких городов, где памятники архитектуры имеют особую ценность, – Тамбов.

В городе сохранилось множество замечательных архитектурных сооружений, которые являются не только олицетворением исторической и культурной ценности города, но и привлекают внимание туристов и жителей своей красотой и монументальностью. Они являются непреходящими свидетелями времени и призывают уважать их историческое значение.

Однако в последнее время заброшенные памятники архитектуры становятся проблемой. Вместо того чтобы служить спектаклями архитектурного мастерства и гордостью для городского сообщества, эти сооружения оказываются забытыми и запущенными. Причины заброшенности могут быть разными: от недостатка финансирования и невнимания к историческому наследию до негативного воздействия времени и природных факторов.

Такое положение дел имеет серьезные последствия для облика города. Заброшенные

памятники архитектуры создают ощущение запустения и разрушения, портят общий визуальный облик города и вносят несоответствие в окружающую архитектурную среду. Это также может отрицательно сказываться на привлекательности Тамбова для туристов и инвесторов, что в свою очередь влияет на экономическое развитие города.

Целью данной статьи является ознакомление с некоторыми заброшенными памятниками архитектуры Тамбова и их историей. Мы рассмотрим несколько конкретных примеров таких сооружений и погрузимся в их уникальную архитектурную историю. Кроме того, мы проведем анализ причин заброшенности этих памятников, рассмотрим их влияние на облик города и исследуем инициативы и проекты, направленные на сохранение и восстановление этих уникальных сооружений.

Эта статья позволит читателям понять важность сохранения памятников архитектуры, а также вызовет их интерес к их истории и культурному наследию, которыми они владеют.

Тамбов – один из старейших городов России, имеющий богатую историю и уникальное архитектурное наследие. Город был основан в 1636 году и прославился своей ролью в истории Российской империи (рис. 1).



Рис. 1. Тамбов, 1636 год

Через столетия Тамбов претерпел множество изменений и стал домом для разных культурных и архитектурных стилей.

Архитектурные особенности отражают исторические этапы его развития. Вначале, город был построен в стиле русской деревянной архитектуры, (рис. 2) что отчетливо видно по

сохранившимся деревянным домам и церквям. Эти сооружения, сочетающие в себе уникальную резьбу, детализацию и изысканные произведения искусства, являются свидетельством того, как мастера того времени воплотили свои навыки и талант в деревянной архитектуре.



Рис. 2. Деревянная церковь Параскевы-Пятницы в селе Казывань, 1767

В XIX веке, в работах по градостроительству стали использовать камень и кирпич вместо дерева. Это время характеризуется развитием классицизма, архитектурного стиля, который придавал зданиям строгую геометрию и симметрию. Множество дворцов, усадеб и административных зданий были построены в этом стиле, подчеркивая величие города.

В начале XX века, с развитием индустриализации и ростом городской инфраструктуры, Тамбов начал воплощать принципы архитектурного стиля модерн. Этот стиль характеризуется использованием органических форм,

изысканностью и экспериментами с материалами. В результате в городе появились уникальные здания, которые были признаны памятниками архитектуры.

Церковь Покрова Пресвятой Богородицы в селе Альдия (рис. 3) является одним из интересных исторических объектов Тамбовской области. Строительство церкви произошло в период с 1850 по 1880 годы и было осуществлено за счет средств местных верующих. Однако после революции церковь была разорена, и ее здание претерпело значительные изменения в использовании.



Рис. 3. Церковь Покрова Пресвятой Богородицы в селе Альдия

В настоящее время здание церкви использовалось как зернохранилище. Это свидетельство о том, как многие религиозные сооружения после революции были приспособлены под различные цели, не имеющие непосредственного связи с их первоначальным назначением.

Существует и интересный слух о том, что где-то в районе церкви Покрова Пресвятой Богородицы спрятана древняя икона, которую во время революции закопали, чтобы сохранить эту священную реликвию от разграбления и уничтожения. Однако точность этой

информации не подтверждена, и эта тайна остается загадкой, добавляя загадочности и интереса к истории этого места.

Усадьба Воейковых «Ольшанка» (рис. 4) имеет интересную историю, начавшуюся в 1815 году после приобретения здания генералом-майором Алексеем Васильевичем Воейковым и его супругой. Расположенная в 120 км к югу от Тамбова, в поселке Красное Знамя Уваровского района, эта усадьба является развалинами бывшего дома тамбовской ветви древнего дворянского рода Воейковых.



Рис. 4. Усадьба Воейковых «Ольшанка» Тамбовская область

В прошлом усадьба была прекрасным архитектурным сооружением, привлекавшим внимание современников своей красотой и роскошью. Она была окружена ухоженными парками

и садами, а в самом здании находились просторные залы, роскошные гостиные и спальни, оформленные со вкусом и роскошью того времени. К сожалению, с течением времени

усадьба сильно пострадала и находится в состоянии разрухи.

Чтобы представить, как усадьба выглядела раньше, можно обратиться к работам художников Поленовых, изображающих эту усадьбу. Эти произведения искусства можно найти в различных музеях страны и частных коллекциях.

Интересно отметить, что местные жители рассказывают о странных явлениях, связанных с усадьбой. По их словам, ранней весной, в вечернее время, можно услышать громкие разговоры, доносящиеся из здания, хотя в настоящее время оно находится в полуразрушенном состоянии. Эти слухи добавляют загадочности и таинственности к истории усадьбы Воейковых «Ольшанка» и привлекают внимание людей, интересующихся паранормальными явлениями и мистикой.

Развернутое описание причин заброшенности памятников архитектуры представлено ниже.

1. Экономические факторы: одной из основных причин заброшенности памятников архитектуры являются экономические трудности. Ремонт и поддержание этих сооружений требуют значительных финансовых вложений. В условиях ограниченных бюджетных ресурсов городские и региональные власти могут оказывать мало поддержки в восстановлении и сохранении памятников архитектуры.

2. Социокультурные изменения: социокультурные изменения, происходящие в обществе, также влияют на заброшенность памятников архитектуры. С изменением вкусов и предпочтений жителей, некоторые старые здания теряют свою популярность и становятся нежелательными для жильцов и предпринимателей. Как результат, эти сооружения остаются без владельцев и подвергаются упадку.

3. Отсутствие государственной поддержки и социальной ответственности: недостаток государственной поддержки и несоответствующее внимание к сохранению памятников архитектуры являются также значимыми факторами. В некоторых случаях, органы власти не проявляют должного интереса к

памятникам архитектуры, не предоставляют необходимые субсидии и гранты для реставрации и обслуживания этих сооружений. Кроме того, собственники памятников архитектуры могут нести ответственность за сохранение их в хорошем состоянии, но не всегда осознают свою роль и обязанности.

4. Воздействие заброшенных памятников архитектуры на облик города: заброшенные памятники архитектуры имеют негативное влияние на общий архитектурный облик города. Они создают впечатление запущенности и ухудшают общий облик окружающей среды. В результате туристическая привлекательность города может снижаться, а репутация города в целом может страдать.

5. Инициативы и проекты по сохранению заброшенных памятников архитектуры: некоторые инициативы и проекты направлены на сохранение и восстановление заброшенных памятников архитектуры. Это могут быть государственные программы, благотворительные фонды или публично-частные партнерства. Однако не всегда эти инициативы обеспечивают достаточное финансирование и поддержку.

В заключение сохранение памятников архитектуры имеет важное значение для города Тамбова. Они являются неотъемлемой частью архитектурного наследия города и способствуют формированию его исторического и культурного облика. Для успешного сохранения и восстановления заброшенных памятников архитектуры необходимо усилить государственную поддержку и проявить социальную ответственность со стороны всех заинтересованных сторон.

Литература

1. Черменский П.Н. Прошлое тамбовского края. Тамбов, 1961.
2. Горелов А.А., Шукин Ю.К. Тамбов. Справочник-путеводитель (центральная часть). Тамбов, 1999.
3. Шукин Ю.К., Горелов А. А., Молчанов Г. А. Тамбов старый, Тамбов новый, Тамбов, 2002.

RUBINOVA Ekaterina Alexandrovna

student of the architecture department,
Tambov State Technical University, Russia, Tambov

*Scientific Advisor – Associate Professor of the Department Associate Professor of the Department of
Architecture and Urban Planning of Tambov State Technical University Karasova Irina Yurievna*

FADING BEAUTY: ABANDONED ARCHITECTURAL MONUMENTS OF THE TAMBOV REGION

Abstract. *The article is devoted to the study of the unique architectural monuments of the city of Tambov, which represent a valuable historical and cultural heritage.*

Keywords: *architecture, socio-cultural environment, architectural monuments, Tambov region.*

МЕДИЦИНА, ФАРМАЦИЯ

БЕРЕЗИН Дмитрий Дмитриевич

студент, Институт информационных технологий,
Российский технологический университет, Россия, г. Москва

*Научный руководитель – доцент кафедры практической и прикладной информатики
Российского технологического университета, доцент Петросян Лусине Эдуардовна*

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СОВРЕМЕННЫХ СИСТЕМ ПОМОЩИ ПРИНЯТИЯ ВРАЧЕБНЫХ РЕШЕНИЙ, ИХ ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ В РОССИИ И МИРЕ

Аннотация. В статье проводится анализ тенденций развития систем помощи принятия врачебных решений (СППВР). Будут разобраны предпосылки, первое появление и развитие подобных систем. Рассмотрена архитектура и прогнозы на будущее.

Ключевые слова: системы поддержки принятия врачебных решений, СППВР, история СППВР в России, эволюция СППВР, электронное здравоохранение.

Введение

В связи с ростом технологического прогресса новые технологии постоянно затрагивают всё новые и новые сферы нашей жизни. Прогресс коснулся и медицины. Одним из проявлений таких решений были системы помощи принятия решений. Изначально предполагалось, что подобные решения полностью заменят человека. Однако спустя недолгое время, данные системы стали хорошим инструментом помощи врачу.

Первое упоминание СППВР в мире

Одной из первых систем помощи врачу была AARhelp, разработанная Тимом Де Домбалем в Великобритании в 1972 году. Эта система помогала диагностировать острую боль в животе. В результате проведенных исследований выяснилось, что хоть и система ошибалась, однако в итоге, точность её классификации по некоторым пунктам оказалась выше, чем у клиницистов и в среднем составляла 91.8% [1, с. 9-13].

Внедрение систем принятия медицинских решений в повседневную жизнь

От момента изобретения и проектирования какой-либо технологии, до её внедрения в реальную жизнь должно пройти определенное время. Такой путь прошли все

высокотехнологические устройства и технологии, которыми мы пользуемся. Комплексные медицинские информационные системы не стали исключением и начали свой путь только в середине 90-х годов. Однако решали они в большинстве своём вопросы администрирования учреждения, такие как бухгалтерия, а не повышение качества обслуживания. Это можно объяснить тем, что в тот момент времени компьютеры не были широко распространены, стоимость компьютера была высокой, а работать за ним мог не каждый врач, что ставило под вопрос экономическую целесообразность внедрения таких систем повсеместно.

С ростом российской экономики и большим распространением компьютеров, к 2002 году общая доля программного обеспечения, предназначенная для автоматизации работы врачей, составляла уже 16%, однако общее количество медицинских учреждений, использующих средства автоматизации, по-прежнему было невелико, поэтому об общей автоматизации всё ещё не могло идти речи [2].

Во время симпозиума в Карелии в 2005 году, были озвучены вышеперечисленные проблемы. Было замечено, что многие существующие на тот момент времени системы, разрабатывались 5 и более лет. За этот период времени

разработчики накопили достаточный практический опыт не только для программирования, но и для проектирования информационных систем, также за это время начала развиваться конкуренция среди производителей. Для разработки качественной информационной системы, были обозначены сроки в 8 лет. Из этого можно сделать вывод, что на тот момент времени, появление единой высокотехнологичной медицинской информационной системы было лишь вопросом времени [3].

Спустя 6 лет, в апреле 2011 года была утверждена единая государственная информационная система (ЕГИС), в начальной интерпретации эта система должна была включать в себя

только базовые элементы информатизации, однако со временем функционал системы расширился [5].

Стоит ли игра свеч? Эффективность работников медицинских учреждений

Исходя из тенденций развития общества, можно сделать вывод о том, что цифровизация медицины – это лишь вопрос времени, но как сильно повышается эффективность отдельно взятой клиники до внедрения автоматизированных информационных систем и после их внедрения.

Возьмем официальные данные Росстата для анализа ситуации и отметим 2011 год красной линией (рис. 1–3)

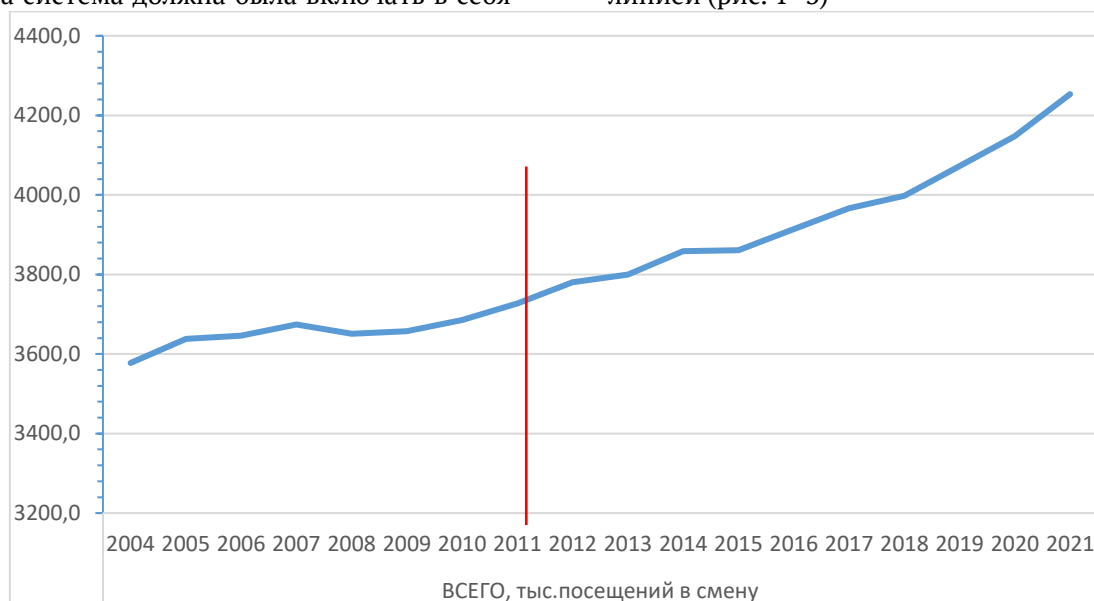


Рис. 1. Мощность (число посещений в смену) амбулаторно-поликлинических организаций, на конец года

Как видно на рисунке 1, нагрузка на врачей стабильно повышается в течение всего

времени сбора статистики и интенсивность этого роста постоянно увеличивается.



Рис. 2. Численность врачей всех специальностей (физических лиц) в организациях, оказывающих медицинские услуги, на конец года

На рисунке 2 можно увидеть резкий спад численности врачей на конец 2012 года, однако тенденция на остальных графиках кардинально не меняется. На 16 Пироговском съезде

врачей, данную ситуацию обосновали некорректным исполнением медицинских реформ [4].



Рис. 3. Число больничных организаций, на конец года

На рисунке 3 можно увидеть, что число больничных организаций тоже постепенно сокращается. Данное явление можно объяснить тем, что несколько медицинских организаций сливается в одну с небольшим количеством корпусов. Это может быть связано с оптимизацией использования ресурсов, таких как: финансы, персонал и оборудование. Общая закупка медицинского оборудования, совместное использование медицинских услуг и общие инфраструктурные ресурсы могут снизить издержки, тем самым повысив эффективность клиники.

Сопоставив эти 2 фактора, можно понять, что время на прием одного пациента сокращается, что было бы невозможным без внедрения автоматизированных медицинских систем.

Архитектура МИС

У существующих информационных систем есть два типа архитектуры, монолитная, или модульная. В информационных системах с модульной архитектурой высокая гибкость для настройки информационной системы, можно подключить только те модули, которые будут использоваться в системе, однако это влечет за собой низкую скорость работы. Монолитная же архитектура имеет более высокую скорость работы, однако они стараются вместить в себя

максимально широкий функционал, который в большинстве случаев не будет использоваться клиникой и будет тратить ресурсы сервера.

Также информационные системы делятся на серверные и облачные версии. Облачные системы хранят данные и выполняют все операции на серверах поставщика. Покупатель фактически не владеет системой, а арендует ее в рамках модели «SaaS». Данное решение не является надежным, так как в случае непредвиденной ситуации, такой как потеря интернет-соединения, или сбоя на сервере, может привести к потере данных клиента, что является недопустимым в такого рода системах.

Стационарные МИС устанавливаются на базе серверного оборудования организации, и она самостоятельно несет ответственность за хранение данных. Такое решение обычно более надежное и гибкое, поскольку может быть легко настроено и адаптировано под конкретные запросы. Однако, процесс установки, интеграции и технической поддержки требует больше времени, и денег, чем в случае облачных систем.

Рассмотрим более подробно монолитную архитектуру с серверным типом хранения, так как это наиболее простая медицинская информационная система (рис. 4).

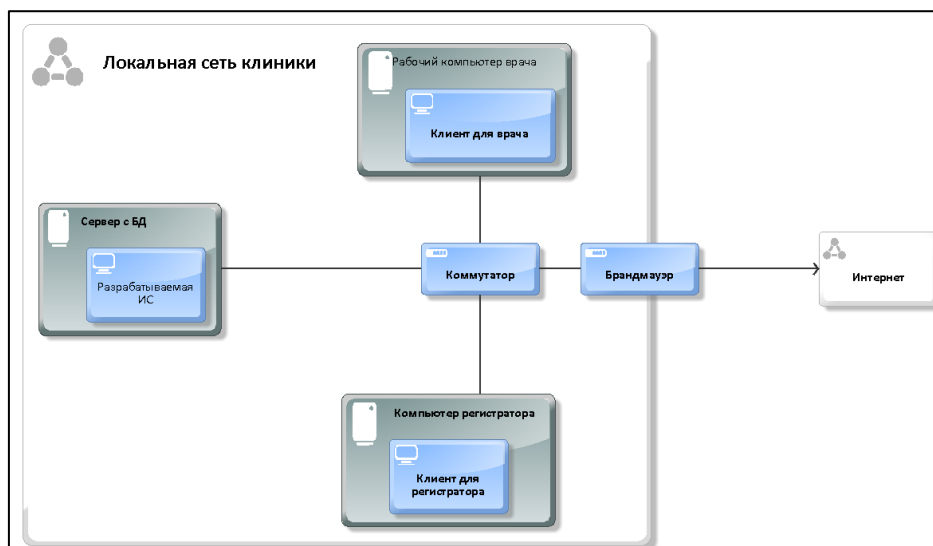


Рис. 4. Пример ИТ инфраструктуры частной клиники

Из рисунка можно понять, что для минимальной работы информационной системы не обходимо как минимум один сервер с базой данных, рабочее место врача и рабочее место регистратора, и выход в интернет для связи с ЕГИС.

Прогнозы на будущее

На текущий момент времени, благодаря развитию вычислительных мощностей, постановка диагноза занимает всё меньше и меньше времени. Начинают появляться средства телемедицины, которые позволяют проводить консультации с врачом, не выходя из дома. По России активно внедряются автоматизированные медицинские системы, такие системы могут иметь в себе:

- Систему электронных медицинских карт (ЭМК), благодаря которым ситуация с утерей данных карты становится невозможной, человек может ходить к разным врачам в разные поликлиники и при этом у каждого врача будет вся история болезни пациента.
- Производить мониторинг данных пациентов и на основе полученных данных показывать статистику состояния пациента, благодаря этому ещё сильнее ускорив скорость и качество обслуживания. Ведь иногда, алгоритм может заметить неочевидные для врача признаки заболевания, которые в последствии можно будет предотвратить.
- Использование алгоритмов машинного обучения для улучшения точности диагностики и разработки персонализированных планов лечения, а также для раннего выявления рисков развития заболеваний и предотвращения их развития.
- Интеграция умных носимых устройств, таких как часы, браслеты или кольца, которые

могут собирать и передавать данные с медицинскими приложениями.

- Развитие телемедицины, предоставление медицинских консультаций в режиме реального времени из дома

Вывод

В результате всего вышеперечисленного была рассмотрена история систем помощи принятия медицинских решений, рассмотрены предпосылки появления медицинских информационных систем, рассмотрена архитектура современных систем, сделаны выводы по выбору.

Литература

1. F. T. de Dombal, D. J. Leaper, J. R. Staniland, A. P. Mccann, Jane C. Horrocks Computer-aided Diagnosis of Acute Abdominal Pain [Текст] / F. T. de Dombal, D. J. Leaper, J. R. Staniland, A. P. Mccann, Jane C. Horrocks // British Medical Journal. – 1972. – № 2. – С. 9-13.
2. Александр Гусев Шаг за шагом к намеченной цели / Александр Гусев [Электронный ресурс] // CNewsАналитика: [сайт]. – URL: https://www.cnews.ru/reviews/free/national2006/articles/steps/#_ftn2 (дата обращения: 04.12.2023).
3. Гусев А.В., Романов Ф.А., член-корреспондент РАМН Дуданов И.П. Обзор медицинских информационных систем на отечественном рынке в 2005 год / Гусев А.В., Романов Ф.А., член-корреспондент РАМН Дуданов И.П. [Электронный ресурс] // Карельский научно-медицинский центр СЗО РАМН, Петрозаводск: [сайт]. – URL: http://medprom.ru/files/123327/mis_gusev.pdf (дата обращения: 04.12.2023).

4. Саркисян А.Г. Х (XXVI) Чрезвычайный пироговский съезд врачей «20-летие Пироговского движения врачей России: ожидания и реальность» / А.Г. Саркисян [Электронный ресурс] // Российская Медицинская Ассоциация: [сайт]. – URL: <https://www.rmass.ru/publ/info/xxvi> (дата обращения: 04.12.2023).

5. Голикова Т. Приказ от 28 апреля 2011 года N 364 Об утверждении концепции

создания единой государственной информационной системы в сфере здравоохранения / Т. Голикова [Электронный ресурс] // Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов: [сайт]. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/902276660> (дата обращения: 04.12.2023).

BEREZIN Dmitry Dmitrievich

student, Institute of Information Technology, Russian Technological University,
Russia, Moscow

Scientific Advisor – Associate Professor of the Department of Practical and Applied Informatics of the Russian University of Technology, Associate Professor Petrosyan Lusine Eduardovna

**RESEARCH ON THE DESIGN OF MODERN MEDICAL DECISION-MAKING
ASSISTANCE SYSTEMS, THEIR HISTORY OF DEVELOPMENT IN RUSSIA
AND THE WORLD**

Abstract. *The article analyzes the trends in the development of medical decision-making assistance systems (DSS). The prerequisites, the first appearance and development of such systems will be analyzed. Architecture and forecasts for the future are considered.*

Keywords: *medical decision support systems, DSS, the history of DSS in Russia, the evolution of DSS, e-health.*



10.5281/zenodo.16294495

ГУЛИЕВ Рамиль Намиль оглы
хирург, Азербайджан, г. Баку

ОРГАНИЗАЦИЯ КОМАНДНОЙ РАБОТЫ В ОПЕРАЦИОННОЙ ПРИ ЛАПАРОСКОПИЧЕСКИХ ВМЕШАТЕЛЬСТВАХ

Аннотация. Статья посвящена анализу организации взаимодействия персонала в операционной при выполнении лапароскопических вмешательств. Актуальность исследования обусловлена ростом числа минимально инвазивных операций и необходимостью повышения безопасности пациентов. Новизна данной работы состоит в сравнении традиционных и симуляционных методов оптимизации командной работы с учётом внедрения технологий дополненной реальности. В рамках исследования описаны характеристики требований к инструментальным и коммуникационным навыкам бригады, охарактеризованы основные интервенции для повышения слаженности персонала и рассмотрены примеры цифровых решений для поддержки взаимодействия. Изучены эмпирические и метааналитические данные многоцентровых исследований, отчёты о внедрении протоколов SBAR и TeamSTEPPS, а также результаты пилотных проектов с AR-системами. Цель работы заключается в том, чтобы выявить эффективные подходы к организации командного взаимодействия при лапароскопии. Для решения применялись сравнительный анализ, синтез данных и системный обзор литературы. В заключении сформулированы рекомендации по внедрению комплексных обучающих и технологических мероприятий, направленных на повышение качества ухода и снижения рисков осложнений у пациентов. Материал будет полезен хирургам, администраторам операционных служб и разработчикам образовательных программ.

Ключевые слова: лапароскопия, командная работа, коммуникация, симуляции, протокол SBAR, TeamSTEPPS, дополненная реальность, операционная, безопасность пациентов, подготовка персонала.

Введение

Рост требований к безопасности и эффективности хирургических вмешательств стимулирует поиск новых подходов к организации работы в операционной. Рост числа лапароскопических вмешательств предъявил новые требования к организационной структуре операционной бригады, что определяет актуальность исследования. Косвенное управление инструментами и зависимость от визуального отображения увеличивают нагрузку на координацию действий и точность коммуникации, что напрямую влияет на исходы лечения и экономическую эффективность хирургического процесса.

Цель исследования – определить методы повышения эффективности взаимодействия команды в операционной при лапароскопии. Задачи:

1. Сравнить когнитивные и инструментальные требования к персоналу в традиционных и минимально инвазивных вмешательствах.

2. Оценить эффективность структурированных протоколов и тренингов на основе эмпирических данных.

3. Исследовать влияние технологий дополненной реальности на качество обучения и коммуникации бригады.

Новизна заключается в том, что исследование – первый комплексный обзор, объединяющий сравнительный анализ требований к навыкам, оценку внедрённых образовательных программ и ранние результаты применения AR-решений в рамках единого исследования.

Методы и материалы

В качестве источников были привлечены ведущие исследования в области минимально инвазивной хирургии и эффективного взаимодействия операционной бригады. Y. Feng [1, с. 1031-1040] изучил восприятие и принятие системы поддержки коммуникации в лапароскопии, а M.T. Gettman [2, с. 1289-1296] предложил применение высокореалистичного симуляционного тренинга для оценки командных навыков. C. Greenberg [3] проанализировал процессы взаимодействия участников

хирургической бригады с учётом мнения заинтересованных сторон. J. Grimshaw [4, с. 715-724] осуществил наблюдательный анализ межпрофессионального сотрудничества в операционной. L.R. Weld [5, с. 408-414] описал результаты внедрения TeamSTEPPS и его эффект на эффективность операций. J. Weller [6, с. 77-83] проанализировал доказательства эффективности различных методов улучшения командной работы. Y. Zhang [7, с. 1280-1284] исследовал влияние стабильности состава бригады на время лапароскопических процедур. В. Zheng [8, с. 2260-2265] провёл сравнительный анализ состава команд при открытых и малоинвазивных вмешательствах.

Применялись сравнительный анализ, систематический обзор опубликованных работ, синтез данных многоцентровых и пилотных исследований, а также метод анализа практических отчётов и программ обучения.

Результаты

Некачественная командная работа в операционной доказано приводит к значительному числу предотвратимых осложнений у хирургических пациентов. В частности, недостаточная коммуникация или неясное распределение ролей внутри бригады приводит к несогласованности действий, снижению эффективности и увеличению количества ошибок во время операции [3]. Лапароскопические вмешательства предъявляют к команде особые требования. Исследования отмечают, что такие операции требуют иного набора навыков и иной динамики взаимодействия персонала по сравнению с открытой хирургией [8, с. 2260-2265]. В условиях лапароскопии вся бригада работает, опираясь на изображение с камеры, поэтому визуальная координация действий становится критически важной (табл. 1).

Таблица 1

**Сравнение требований к командной работе в открытой хирургии и лапароскопии
(составлено автором на основе [2, с. 1289-1296; 3])**

Характеристика	Открытая хирургия	Лапароскопия
Навыки инструментальной работы	Прямой тактильный контроль, рукопашное взаимодействие	Косвенное управление инструментами, координация по изображению с монитора
Коммуникация	Вербальная и невербальная при прямом зрении	Основная зависимость от вербальных сигналов и заранее отработанных жестов
Распределение ролей	Гибкое перераспределение в зависимости от хода вмешательства	Предварительное чёткое закрепление функций для избежания задержек
Фокус внимания	Сосредоточение на оперируемой области у всех участников	Разделение внимания между монитором и инструментарием, необходимость упреждающего взаимодействия

Эти технологические особенности повышают требования к слаженности команды: для успешного выполнения лапароскопической операции необходимы упреждающее планирование, четкое распределение функций и максимальная внимательность всех участников.

Эмпирические данные подтверждают данную тенденцию. Так, крупное многоцентровое исследование показало, что лапароскопические операции в среднем требуют большего числа участников бригады и более продолжительного времени, чем сопоставимые по сложности открытые вмешательства. Даже при одинаковой сложности случаев лапароскопия остаётся более длительной и ресурсоёмкой, что обусловлено не только техническими моментами, но и особенностями командной динамики. Предполагается, что присущая лапароскопии технологическая сложность и

распределённость внимания команды обуславливают эти отличия [8, с. 2260-2265]. Тем не менее применение стабильно работающих специализированных бригад нивелирует многие сложности. Так, внедрение постоянных, сыгранных команд продемонстрировало улучшение исходов хирургического лечения, тогда как несогласованность и сбои в коммуникации персонала приводят к удлинению оперативного времени, увеличению частоты осложнений и росту затрат. Метаанализ также подтвердил, что оптимизация командного взаимодействия сокращает продолжительность операций, а плохая командная работа достоверно повышает послеоперационную заболеваемость и стоимость лечения [4, с. 715-724].

Для повышения эффективности командной работы разработан ряд интервенций: введение контрольных списков безопасности,

командных «тайм-аутов», стандартизированных протоколов коммуникации (например, SBAR), обучающих программ по командным навыкам (TeamSTEPPS) и регулярных симуляционных тренингов. Анализ показывает, что

хотя эти меры в целом способны улучшить взаимодействие, результаты их применения неоднозначны и зависят от качества внедрения (табл. 2).

Таблица 2

Характеристика основных интервенций для оптимизации командной работы (составлено автором на основе [5, с. 408-414; 6, с. 77-83; 7, с. 1280-1284])

Интервенция	Краткое описание	Целевой эффект
Surgical Safety Checklist (Всемирный стандарт)	Стандартизированный перечень действий до, во время и после операции	Снижение числа осложнений и летальности
TeamSTEPPS	Модульная программа тренингов по коммуникации и взаимодействию	Сокращение времени операций, рост эффективности
Стандартизированные протоколы коммуникации (SBAR)	Алгоритм структурированного обмена информацией	Упрощение передачи критических сообщений
Контрольные списки и «тайм-ауты»	Остановки для проверки готовности команды перед ключевыми этапами	Повышение осознанности и согласованности действий
Симуляционные тренинги высокой реалистичности	Репликация операционной обстановки с обратной связью	Усиление командных навыков и микроклимата

Вместе с тем отдельные подходы продемонстрировали явную эффективность. В частности, внедрение Всемирного стандарта Surgical Safety Checklist привело к улучшению показателей командной работы, снижению частоты осложнений и летальности у хирургических пациентов. Комплексная программа командного тренинга TeamSTEPPS в одном из исследований ассоциировалась с заметным повышением организационной эффективности: средняя длительность операций снизилась на ~12,7 минут, частота своевременного начала первой операции дня выросла на 21%, а доля выявленных инцидентов безопасности упала с 16% до 6% [5, с. 408-414].

Высокореалистичные симуляционные тренинги доказали свою пользу в повышении командных компетенций. Так, в одном эксперименте с участием хирургов-урологов после обучения в симуляционном центре показатели командного взаимодействия (по валидированным шкалам) статистически значимо улучшились, а анализ видеоопераций подтвердил более строгое соблюдение лучших практик и поддержание позитивного микроклимата в команде [2, с. 1289-1296]. Аналогично, систематический обзор показал, что наилучших результатов удаётся достичь при сочетании структурированных методов обмена информацией между членами бригады, регулярного командного тренинга и организационных мер поддержки командной работы [6, с. 77-83]. Такие комплексные стратегии приводят к более

слаженной работе коллектива, оптимизации операционных процессов и даже достоверному улучшению исходов лечения пациентов.

Важным фактором эффективности является сыгранность коллектива. Показано, что повышение «командной знакомости» даже в небольшой степени способствует улучшению показателей: например, при росте индекса сыгранности команды на 1% время лапароскопической операции сокращается примерно на 0,24% [7, с. 1280-1284]. Хотя этот эффект невелик, он подтверждает ценность постоянного состава бригады и накопленного совместного опыта. Исследования показывают, что уменьшение текучести команды и закрепление стабильного ядра коллективов повышает эффективность их работы [8, с. 2260-2265]. Рекомендуются также регулярные симуляционные упражнения и продуманное управление кадрами: эти меры рассматриваются как относительно недорогие, но высокоэффективные стратегии укрепления командного взаимодействия.

Технологические новации также находят применение для улучшения коммуникации в операционной. К примеру, в лапароскопии испытываются системы дополненной реальности, накладывающие подсказки и жесты наставника прямо на изображение с эндокамеры. В пилотном исследовании такой виртуальный указатель позволил повысить успешность выполнения обучающих заданий ассистентами, увеличил степень усвоения ими знаний и снизил нагрузку на инструкторов [1,

с. 1031-1040] (табл. 3). Это подтверждает потенциал подобных технологий в улучшении

взаимопонимания и снижении числа ошибок во время реальных лапароскопических операций.

Таблица 3

Примеры технологических решений для повышения коммуникации в лапароскопии
(составлено автором на основе [1, с. 1031-1040])

Технология	Функционал	Отмеченный эффект при пилотных исследованиях
Система дополненной реальности	Наложение подсказок и жестов наставника на изображение с эндодокамеры	Повышение успешности выполнения обучающих заданий ассистентами
Виртуальный указатель	Маркировка областей и указание оптимальных траекторий инструментов	Снижение нагрузки на инструкторов и улучшение усвоения навыков

Системы дополненной реальности повысили точность обучающих манипуляций ассистентов, снизили нагрузку на инструкторов и ускорили усвоение практических навыков. Виртуальный указатель обеспечил однозначную визуализацию траекторий инструментов, что сократило время обучения и уменьшило количество ошибок при выполнении сложных операций. Интеграция перечисленных технологий в тренировочные протоколы усиливает качество подготовки персонала и снижает вероятность коммуникационных сбоев в реальных лапароскопических вмешательствах.

Обсуждение

Полученные результаты выявили повышенные когнитивные и координационные требования при работе через видеомонитор. Команда вынуждена смещать фокус между инструментами и экранным изображением, что приводит к возрастанию нагрузки на внимание и снижению гибкости перераспределения функций; надлежит обеспечить ранний обмен информацией с закреплением конкретных обязанностей до начала каждого этапа вмешательства.

Многоцентровый анализ продемонстрировал удлинение длительности лапароскопических вмешательств по сравнению с открытыми процедурами при равном уровне сложности, что свидетельствует о влиянии особенностей командной динамики, и создание постоянных сыгранных коллективов ощутимо сгладило выявленные задержки и снизило риск ошибок во время операции.

Феномен командной знакомости проявился в статистически значимом сокращении времени вмешательства при невысоком приросте индекса сыгранности. При увеличении показателя на единицу отмечался процентный выигрыш по длительности операций. Механизм эффекта основывается на накопленном опыте

совместных действий и понимании поведения коллег под давлением. Поддержание стабильного состава следует учитывать в кадровой стратегии для укрепления слаженности.

Новейшие технологии дополнили традиционные подходы. Системы дополненной реальности осуществляют наложение визуальных подсказок прямо на экран, что облегчает обучение ассистентов и снижает нагрузку инструкторов. Виртуальный указатель однозначно маркирует оптимальные траектории, что ускоряет освоение практических навыков и снижает число ошибок. Масштабирование этих решений требует проведения контролируемых исследований с детальным анализом пользовательского восприятия и интеграции в существующие протоколы.

Выбранная последовательность внедрения интервенций и технологий требует учета специфики каждого учреждения и исходных уровней подготовки персонала. Следует сформировать циклы постоянного обучения с комбинированием симуляций, чек-листов и приборных решений. Будущие исследования могут оценить долгосрочное влияние комплексных мероприятий на клинические исходы и экономические показатели работы операционного блока.

Заключение

Повышение эффективности командной работы при лапароскопии требует интеграции процедурных, образовательных и технологических компонентов в единый процесс подготовки. Оптимизация распределения ролей через стандартизированные протоколы и внедрение технологий дополненной реальности способствуют сокращению операционного времени и снижению рисков осложнений, что подтверждает достижение задач исследования.

Сформулированная модель взаимодействия операционной бригады ориентирована на

практическое применение в условиях медицинских учреждений. Использование комбинированных методов обучения, симуляционных тренингов и AR-решений обеспечит повышение качества хирургического обслуживания и экономическую эффективность операционного блока, отвечая целям работы и подчеркивая её новизну.

Литература

1. Feng Y., Chhikara J., Ramsey J., Mentis H.M. Perceived Usefulness and Acceptance of Communication Support System in Laparoscopic Surgery [Электронный ресурс] // AMIA Annu Symp Proc. – 2020. – 2019: P. 1031-1040. – URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32308900>.
2. Gettman M.T., Pereira C.W., Lipsky K., Wilson T., Arnold J.J., Leibovich B.C., Karnes R.J., Dong Y. Use of high fidelity operating room simulation to assess and teach communication, teamwork and laparoscopic skills: initial experience // J Urol. – 2009. – 181(3): P. 1289-1296. – DOI: 10.1016/j.juro.2008.11.018.
3. Greenberg C., Frasier L., Quamme S., Aimee B., Booth S., Gutt A., Wiegmann D. Investigating Teamwork in the Operating Room: Engaging Stakeholders and Setting the Agenda // JAMA Surgery. – 2016. – Vol. 152. – DOI: 10.1001/jamasurg.2016.3110.
4. Grimshaw J., Boet S., Burns J.K., Brehaut J., Britton M., Grantcharov T., Etherington C. Analyzing interprofessional teamwork in the operating room: An exploratory observational study using conventional and alternative approaches // Journal of Interprofessional Care. – 2023. – Vol. 37, № 5. – P. 715-724. – DOI: 10.1080/13561820.2023.2171373.
5. Weld L.R., Stringer M.T., Ebertowski J.S., Baumgartner T.S., Kasprinski M.C., Kelley J.C., Cho D.S., Tieva E.A., Novak T.E. TeamSTEPPS Improves Operating Room Efficiency and Patient Safety // Am J Med Qual. – 2016. – 31(5): P. 408-414. – DOI: 10.1177/1062860615583671.
6. Weller J., Boyd M. Making a Difference Through Improving Teamwork in the Operating Room: A Systematic Review of the Evidence on What Works // Curr Anesthesiol Rep. – 2014. – 4: P. 77-83. – DOI: 10.1007/s40140-014-0050-0.
7. Zhang Y., Zheng B. Familiarity of surgical teams: Impact on laparoscopic procedure time // Am J Surg. – 2022. – 224(5): P. 1280-1284. – DOI: 10.1016/j.amjsurg.2022.06.002.
8. Zheng B., Fung E., Fu B., Panton N.M., Swanström L.L. Surgical team composition differs between laparoscopic and open procedures // Surg Endosc. – 2015. – 29(8): P. 2260-2265. – DOI: 10.1007/s00464-014-3938-3.

GULIYEV Ramil

Surgeon, Azerbaijan, Baku

ORGANIZATION OF TEAMWORK IN THE OPERATING ROOM DURING LAPAROSCOPIC INTERVENTIONS

Abstract. This article is devoted to the analysis of the organization of staff interaction in the operating room during laparoscopic interventions. The relevance of the study is due to the growing number of minimally invasive surgeries and the need to improve patient safety. The novelty of this work consists in comparing traditional and simulation methods of optimizing teamwork, taking into account the introduction of augmented reality technologies. The study describes the characteristics of the team's instrumental and communication skills requirements, describes the main interventions to improve staff coherence, and examines examples of digital solutions to support collaboration. Empirical and meta-analytical data from multicenter studies, reports on the implementation of SBAR and TeamSTEPPS protocols, as well as the results of pilot projects with AR systems have been studied. The aim of the work is to identify effective approaches to organizing team interaction during laparoscopy. Comparative analysis, data synthesis, and a systematic literature review were used to solve the problem. In conclusion, recommendations are formulated for the implementation of comprehensive training and technological measures aimed at improving the quality of care and reducing the risks of complications in patients. The material will be useful for surgeons, operating room administrators, and educational program developers.

Keywords: laparoscopy, teamwork, communication, simulations, SBAR protocol, TeamSTEPPS, augmented reality, operating room, patient safety, staff training.

Актуальные исследования

Международный научный журнал

2024 • № 3 (185)

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

Сайт: <https://apni.ru/>

Отпечатано в ООО «ЭПИЦЕНТР».

Номер подписан в печать 24.01.2024г. Формат 60×90/8. Тираж 500 экз. Цена свободная.
308010, г. Белгород, пр-т Б. Хмельницкого, 135, офис 40