



**ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ВОЗДУШНОГО ТРАНСПОРТА  
(РОСАВИАЦИЯ)**

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ «МОСКОВСКИЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ГРАЖДАНСКОЙ  
АВИАЦИИ» (МГТУ ГА)**

**ФАКУЛЬТЕТ** АСК

**КАФЕДРА** ТЭРЭОВТ

**Направление подготовки** 25.06.01 Аэронавигация и эксплуатация  
(код и наименование направления подготовки)  
авиационной и ракетно-космической техники

**Направленность** Эксплуатация воздушного транспорта  
(наименование направленности)

**НАУЧНО-КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА**

**Тема** Радиотехническое обеспечение полетов воздушных судов местных  
воздушных линий с использованием антенн зенитного излучения диапазона  
декаметровых волн

**Обучающийся:**

Адамов Д. С.  
(Ф.И.О.)

(Подпись)

**Научный руководитель:**

д.т.н., профессор Прохоров А.В.  
(уч.степень, уч.звание, Ф.И.О.)

(Подпись)

**Рецензенты:**

д.т.н., доцент Феоктистова О.Г.  
(уч.степень, уч.звание, Ф.И.О.)

(Подпись)

к.т.н., доцент Мерзликин И.Н.  
(уч.степень, уч.звание, Ф.И.О.)

(Подпись)

**Работа допущена к защите:**

**Заведующий кафедрой**

д.т.н., доцент Болелов Э.А.  
(уч.степень, уч.звание, Ф.И.О.)

(Подпись)

**МОСКВА 2023**

**Актуальность.** Территориальные географические особенности Российской Федерации, труднодоступность населенных пунктов, отсутствие единого коммуникативного пространства общества и неравномерность экономического развития регионов формируют потребность населения в повышении уровня социальной мобильности и развития авиационного сообщения региональных и местных воздушных линий, осуществление которых должно соответствовать требованиям безопасности полетов гражданских воздушных судов. Возросшая эксплуатация небольших аэродромов, вызвана взрывным ростом внутренних авиаперевозок и наращиванием новых межрегиональных маршрутов, в том числе местных воздушных линий, которые оснащены морально устаревшим радиотехническим оборудованием, а некоторые и вовсе вынуждены осуществлять полеты по правилам визуальных полетов, имея лишь уведомительный порядок обслуживания.

**Объект исследования** – радиотехническое обеспечение полетов ВС МВЛ в РФ, а именно, в Архангельской области.

**Предмет исследования** – авиационная электросвязь, как средство РТОП ВС МВЛ.

**Цель работы** – повышение безопасности полетов ВС МВЛ за счет предотвращения авиационных происшествий, посредством разработки практических предложений по РТОП, посредством внедрения системы связи на базе антенн зенитного излучения декаметрового диапазона волн на МВЛ в РФ.

Поставленная цель достигается решением следующих основных задач:

1. Анализ действующих нормативных правовых основ в управлении воздушным движением и радиотехническом обеспечении полетов при осуществлении коммерческих полетов ВС на МВЛ.

2. Системный анализ причин, приведших к авариям и катастрофам воздушных судов местных воздушных линий, произошедших на территории РФ.

3. Анализ состава наземного, а также бортового радиоэлектронного оборудования эксплуатируемых воздушных судов и их совместимость с антеннами зенитного излучения.

4. Расчет линии связи и выбор рабочих частот для конкретного региона в которых осуществляются регулярные коммерческие полеты на МВЛ.

5. Расчет частоты ошибочных битов и интенсивности появления ошибочных битов при передаче данных.

6. Разработка прикладного метода, позволяющего нивелировать главный недостаток декаметровых волн – высокое требование стабилизации частоты.

**Методы исследования.** Поставленные задачи решаются с использованием методов математической статистики, общей теории связи, теории распространения радиоволн, вычислительной математики, математического моделирования и программирования.

**Научная новизна работы состоит в том, что:**

- новизна работы продиктована отсутствием единых требований к РТОП ВС МВЛ;

- впервые проведен расчет линии связи и выбор рабочих частот для конкретного региона в которых осуществляются регулярные коммерческие полеты на МВЛ;

- проведен расчет частоты ошибочных битов и интенсивности появления ошибочных битов при передаче данных;

- разработан прикладной метод, позволяющий нивелировать главный недостаток декаметровых волн – высокое требование стабилизации частоты.

**Практическая ценность НКР состоит в следующем:**

1. Работы заключается в том, что почти на всех эксплуатируемых воздушных судах установлены радиостанции декаметрового диапазона, с помощью которых можно обеспечить бесперебойную речевую связь с диспетчером местного диспетчерского пункта на протяжении всего полета по маршруту воздушного судна на местных воздушных линиях. Данное радиотехническое средство позволит избежать удорожания стоимости и без того убыточных региональных авиаперевозок, и является альтернативой спутниковой радионавигационной системе там, где отсутствует радиолокационный контроль. Таким образом, решается задача обеспечения речевой связи диспетчер – пилот –

диспетчер и передачи данных о местоположении ВС по линии передачи данных земля – борт – земля.

2. Разработанный код программы на языке программирования Python является универсальным и совместим с действующими операционными системами КСА УВД.

**На защиту выносятся** теоретическое и экспериментальное обоснование целесообразности и возможности применения прикладного метода осуществления речевой связи «борт – земля», «земля - борт» с использованием АЗИ ДКМВ при полетах ВС МВЛ.

**Результаты НКР использованы в ИНИР:** МГТУ ГА № 07-20 «Анализ текущего состояния и проблем развития местных воздушных линий в Российской Федерации».

Основные положения НКР докладывались и обсуждались на: IX Международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы и перспективы развития гражданской авиации» (г. Иркутск, 2020 г.); ВНТК «XVII Научные чтения по авиации» (г. Москва, 2020 г.); Международная научная конференция «INTERNATIONAL TRANSPORT SCIENTIFIC INNOVATION (ITSI-2021)» (г. Москва, 2021 г.); XII Международная научная конференция "TITDS-XII-2021 (г. Иркутск, 2021 г.).

По материалам НКР опубликовано 7 работ.

Работа состоит из введения, трех глав, заключения и двух приложений.

**В первой главе** проведен анализ текущего состояния МВЛ в РФ и дана характеристика разработанности проблемы.

Сформировавшиеся тенденции настоящего времени задают новый ритм и вектор развития крупнейшей страны Евроазиатского региона. Происходит переориентирование экономики на внутренний рынок, пересматриваются существующие и разрабатываются новые логистические цепочки поставок сырья и продукции всех отраслей промышленности, стремительно развивается внутренний туризм. Перечисленные факторы качественно сказываются на



развитии региональной маршрутной сети воздушных перевозок и росте внутреннего пассажиропотока.

Российская Федерация – государство, расположенное на территории Восточной Европы и Северной Азии, занимающая первое место по площади в мире – 17233,9 тысяч квадратных километров. Население на 04.10.2022 составляет 154,336 миллионов человек. Состоит из 89 субъектов: 24 республики, 9 краев, 48 областей, 3 города федерального значения, 1 автономная область и 4 автономных округа. Вся территория государства разделена на восемь федеральных округов.

РФ граничит с шестнадцатью государствами, удачное географическое положение на политической карте мира, позволяет ей стать преемницей «Великого шелкового пути». Расстояние между северной и южной, а также, западной и восточной окраинами страны составляет порядка 4000 и 10000 километров, соответственно.

Таблица 1 - Транспортная система Российской Федерации

Виды транспорта	Количество перевезенных						Протяженность путей		
	грузов (млн. тонн)			пассажиров (млн. чел.)			(тыс. км)		
	2018	2019	2020	2018	2019	2020	2018	2019	2020
Железнодорожный	1411	1309	1245	1180	1201	878	87	87	87
Автомобильный	5544	5735	5405	13425	13025	9387	1532	1542	1554
Трубопроводный	1160	1160	1061	-	-	-	250	252	254
Морской	23	23	25	7,5	6,0	4,6	-	-	-
Речной	116	108	109	12	11	8	-	-	-
Воздушный	1,3	1,3	1,3	118	131	71	-	-	-
Итого:	8255	8336	7846	14742,5	14374	10348,6	1869	1881	1895

Анализ основных показателей отрасли, позволяет сделать следующие выводы:

- автомобильный транспорт, является наиболее доступным и эффективным при транспортировке небольшого числа пассажиров, а также негабаритных и малотоннажных грузов для региональных и межрегиональных перевозок;
- железнодорожный транспорт, имеет наименьшую стоимость перевозки за пассажиро- и тоннокилометр, и способен перевозить крупногабаритные и тяжеловесные грузы только в пределах транспортной доступности;

- трубопроводный транспорт, способен непрерывно, что важно и в больших объемах транспортировать жидко- и газообразные вещества, как правило продукты нефтегазовой промышленности на большие расстояния;

- морской и речной транспорт, характеризуются способностью провозить крупногабаритные и тяжеловесные грузы на большие расстояния, расстояния, т.к. для передвижения используется водная гладь;

- воздушный транспорт имеет преимущество по скорости, а также способность совершать полеты на местности, не имеющей развитой инфраструктуры.

Таким образом, сравнительно низкая стоимость и доступность использования автомобильного и железнодорожного транспорта делает их наиболее привлекательными. В то же время, строительство в зонах особых климатических и географических условий расширение инфраструктуры в труднодоступных регионах ограничивает их использование. Именно поэтому, значимая роль должна отводиться «малой авиации» при совершении полетов в населенные пункты с низкой плотностью населения.

По данным Государственного реестра аэродромов и вертодромов гражданской авиации Российской Федерации на 01.05.2023 зарегистрировано 225 аэродромов и 5 вертодромов. Несмотря на сохраняющуюся тенденцию к сокращению количества аэродромов, отрасль демонстрирует позитивный рост пассажиропотока после снятия эпидемиологических ограничений и значительное сокращение количества международных перелетов. Статистика приведена на Рисунках 1 и 2.

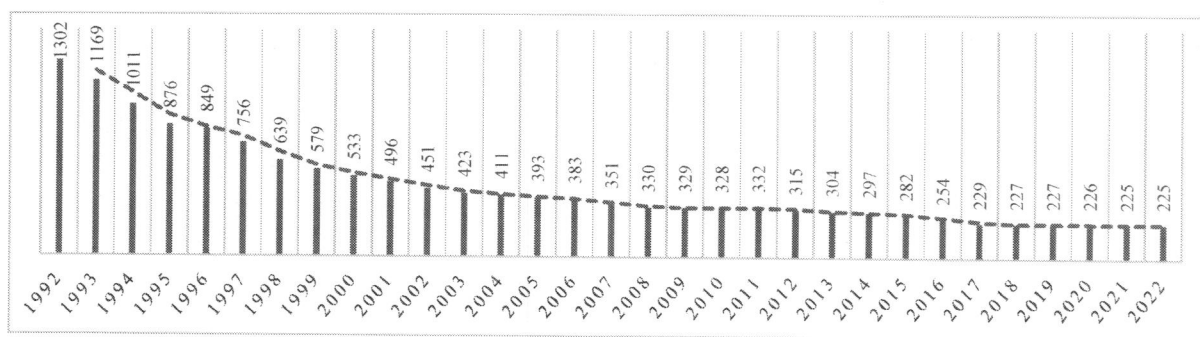


Рисунок 1 - Количество аэродромов РФ в период с 1992 по 2022 годы

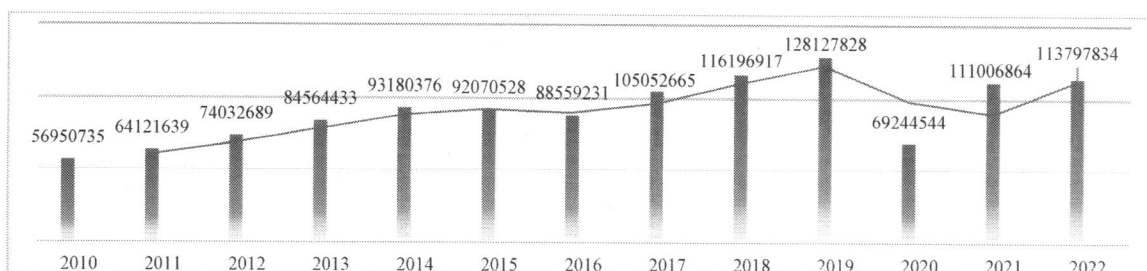


Рисунок 2 - Объем пассажирских перевозок в РФ с 2010 по 2022 годы

На Рисунке 3 представлена актуальная карта субъектов РФ в которых осуществляются коммерческие полеты воздушных судов местных воздушных линий. Синим цветом обозначены субъекты с действующими регулярными коммерческими полетами, серым – в которых они отсутствуют, красной рамкой выделены регионы в которых была предпринята попытка возрождения полетов между регионами Приволжского федерального округа. Государственная программа была признана успешной, но с окончанием срока ее реализации все полеты были прекращены. Наиболее зависимыми от полетов «малой авиации» являются регионы Дальнего востока и Крайнего Севера.



Рисунок 3 - Коммерческие перевозки на местных воздушных линиях в регионах РФ

Вопрос существования и дальнейшего развития МВЛ во многих труднодоступных регионах стоит на контроле местного руководства. В сентябре 2022 года, на полях VII Восточного экономического форума, обсуждалась

дальнейшая концепции развития авиасообщения на Дальнем Востоке. Заместителем Министра транспорта Игорем Чаликом, обозначены вопросы о необходимости реконструкции 25 объектов авиационной инфраструктуры региональных аэропортов Дальневосточного федерального округа в 2022-2024 годах; необходимости улучшения авиационной доступности, которая способствует сохранению и развитию связности регионов и единого коммуникативного пространства, экономического развития региона и страны в целом.

Основными перевозчиками на МВЛ в Архангельской области являются АО «2-ой Архангельский объединенный авиаотряд», а также, АО Нарьян-Марский объединенный авиаотряд, выполняющие рейсы между Архангельском, Нарьян-Маром и населенными пунктами Поморья. На сегодняшний день, в Поморье по центральному расписанию осуществляются коммерческие полеты на местных воздушных линиях по 59 маршрутам.

Нельзя проигнорировать, факт существования разногласий при обслуживании воздушного движения коммерческих воздушных судов местных воздушных линий, вследствие отсутствия единого нормативного правового обеспечения полетов в классе воздушного пространства G.

Проанализированы нормативные правовые акты, в которых упомянуты правила полетов ВС АОН, «малой авиации», а также, МВЛ, иными словами, ВС выполняющие полеты в нижнем воздушном пространстве (классы D, E, F и G).

При анализе нормативных правовых актов, обращено внимание на юридические аспекты, закрепленные в Воздушном кодексе РФ. Статья 20 Воздушного кодекса Российской Федерации предусматривает разделение авиации на гражданскую, государственную и экспериментальную. Гражданская авиация в соответствии со статьей 21 структурируется на гражданскую и АОН.

Разберемся в терминологии. Гражданская авиация – это авиация, используемая в целях обеспечения потребностей граждан и экономики. Авиация общего назначения – это гражданская авиация неиспользуемая для осуществления коммерческих воздушных перевозок и выполнения авиационных

работ. Следовательно, гражданская авиация, осуществляющая транспортировку пассажиров, багажа, грузов, почты и выполняющая авиационные работы относится к коммерческой. Также, необходимо упомянуть, что в авиационном законодательстве отсутствуют такие термины, как «малая авиация» и «местные воздушные линии». Тем не менее, они регулярно используются в юридических документах, например, в Постановлении Правительства РФ «Об утверждении государственной программы Российской Федерации «Развитие авиационной промышленности» и в Приказе Минтранса России «Об утверждении маршрутов обслуживания воздушного движения».

Согласно постановлению Правительства РФ от 11.03.2010 № 138 «Об утверждении Федеральных правил использования воздушного пространства Российской Федерации», воздушное пространство над территорией России, а также за ее пределами, где ответственность за организацию воздушного движения возложена на РФ разделена на три класса: А, С и G.

Проанализировано действующее воздушное пространство Канады и США. Канадское воздушное пространство – это область над поверхностью земли, которая включает в себя всю материковую часть Канады, а также, простирается над Тихим, Северным Ледовитым и Атлантическим океанами, и разделяющиеся на «Северное внутреннее воздушное пространство» и «Южное внутреннее воздушное пространство». Ответственность за юридическое регулирование полетов ВС, обновление нормативно-правовых документов в области ГА возложена на транспортный департамент Правительства Канады – «Transport Canada», в то время, как владеет аэронавигационной системой и осуществляет управление воздушным движением частная некоммерческая организация «Nav Canada». Подробная информация о точных размерах и классификации доступна в государственном сборнике аэронавигационной информации Канады – «AIP Canada», которая публикуется каждые пятьдесят шесть дней. В соответствии с опубликованной в справочнике информацией, воздушное пространство Канады делится на семь классов: А, В, С, D, E, F и G.

В свою очередь воздушное пространство США делится на шесть классов. В отличие от воздушного пространства Канады в США отсутствует класс F, так как существенных преимуществ перед классом G не имеет. Помимо этого, имеется существенное различие в подходе к управлению воздушными судами в США, в части ограничения полномочий на те или иные действия с воздушные суда в зависимости от присвоенной ему квалификации. В Воздушном кодексе США утвержден следующий перечень квалификаций: «пилот-курсант», «пилот-любитель», «пилот – владелец частного самолета», «пилот, имеющий право осуществлять коммерческие воздушные перевозки», «пилот транспортной авиакомпания», «пилот, имеющий удостоверение летчика-инструктора или инструктора по технике пилотирования». В РФ в феврале 2020 года лишь разработан проект профессионального стандарта «Пилот коммерческих воздушных перевозок и авиационных работ гражданской авиации». В случае его утверждения, как законодательной нормы, уполномоченному органу исполнительной власти, осуществляющему функции по контролю в сфере гражданской авиации представится возможность ограничивать действия экипажа в зависимости от условий выполнения полета.

Различия в подходах к управлению воздушным движением очевидны и прописаны в регламентирующих деятельность гражданской авиации документах. Они мотивированы значительно превышающим количеством эксплуатируемых воздушных судов, как магистральной, так и малой авиации в приведенных государствах, о чем свидетельствуют цифры, представленные в Государственном реестре гражданских воздушных судов Федерального агентства воздушного транспорта и Федеральном управлении гражданской авиации США. По их данным на 2016 год приходилось 1088 магистральных воздушных судов в РФ и 6025 в США, т.е. в соотношении один к пяти. Если обратится к полученным статистическим данным рассмотренным в предыдущем разделе, то можно сравнить различия уровня безопасности полетов и сделать соответствующие выводы.



Учитывая высокий уровень безопасности полетов в США, целесообразно воспользоваться успешным опытом зарубежных коллег при организации полетов воздушных судов «малой авиации» и внести соответствующие корректировки в нормативные правовые акты.

**Во второй главе** исследуется возможность разработки алгоритма расчета частот декаметрового диапазона волн и системы для радиопередачи, выполненной на антеннах зенитного излучения

Для организации связи ВС МВЛ, необходимо, чтобы радиосвязь пространственными волнами была устойчивой. Выполнение этого условия возможно, если правильно выбрана рабочая частота, которая по своему значению не превосходит максимальную применимую частоту для заданной трассы и заданного состояния ионизированных слоев, антенна передатчика излучает достаточную мощность для создания напряженности поля необходимую для уверенного приема сигнала. Во-первых, необходимо определить максимальную применимую частоту, учитывая зависимость ионизации слоев F2 и E от времени суток, года и фазы одиннадцатилетнего периода солнечной активности, составить график рекомендуемых для связи частот. Во-вторых, для выбранных частот рассчитать напряженность поля в месте приема. Для решения первой части использовано моделирование в программном обеспечении «Прогнозирование распространения радиоволн коротковолнового диапазона», работающий совместно с сервером «Ионосферное обеспечение».

В основу программного обеспечения заложены эмпирические формулы расчета медианного значения основной максимальной применимой частоты для трассы распространения радиоволн по рекомендациям Международного союза электросвязи ITU-R P.1240 «Методы прогнозирования основных максимальных применимых частот, рабочих максимальных применимых частот и траектории луча, разработанные МСЭ-R», ITU-R P.533 «Метод для прогнозирования рабочих характеристик ВЧ-линий», а также реальные ионосферные данные, получаемые от зондов вертикального зондирования ионосферы.



В соответствии с рекомендациями Международного союза электросвязи, предполагается, что распространение происходит по трассе большого круга между точками расположения передатчика и приемника до 4000 километров посредством E-мод и на любых других расстояниях с использованием F<sub>2</sub>-мод (Таблица 2). Оценка рабочей максимальной применимой частоты, на которой возможна приемлемая работа радиослужбы проводится в два этапа: первый состоит в оценке основной максимальной рабочей частоты исходя из рассмотрения параметров ионосферы, а второй – в определении поправочного коэффициента для учета механизмов распространения на частотах выше основной максимальной применимой частоты.

Таблица 2 - Рассматриваемые моды

Моды	Протяженность линии связи
1F <sub>2</sub>	от 0 до $d_{max}$
Моды F <sub>2</sub> более высокого порядка	свыше $d_{max}$
1F <sub>1</sub>	от 2000 до 3400 километров
1E	от 0 до 2000 километров
2E	от 2000 до 4000 километров

Где  $d_{max}$  - максимальное расстояние по поверхности земли для однократковой моды F<sub>2</sub>, определяемое как:

$$d_{max} = 4780 + \left( 12610 + \frac{2140}{x^2} - \frac{49720}{x^4} - \frac{688900}{x^6} \right) \frac{1}{B-0,303}, \text{ где}$$

$$B = M(3000)F_2 - 0,124 + [M(3000F_2)^2] - 4 \left[ 0,0215 + 0,005 \sin \left( \frac{7,854}{x} - 1,9635 \right) \right],$$

$$x = \frac{f_0 F_2}{f_0 E} \text{ или } 2, \text{ в зависимости от того, какая величина больше.}$$

Используются характеристики ионосферы в средней точке трассы по дуге большого круга.

Расстояние D по поверхности земли до  $d_{max}$ . Основная максимальная применимая частота слоя F<sub>2</sub> определяется следующим образом:

$$F_2(D) \text{ МПЧ} = \left[ 1 + \left( \frac{C_D}{C_{3000}} \right) (B - 1) \right] f_0 F_2 + \frac{f_H}{2} \left( 1 - \frac{D}{d_{max}} \right), \text{ где}$$

$f_H$  - соответствующая гирочастота, а

$$C_D = 0,74 - 0,591Z - 0,424Z^2 - 0,09Z^3 + 0,088Z^4 + 0,181Z^5 + 0,096Z^6,$$

$Z = 1 - \frac{2D}{d_{max}}$ ,  $C_{3000}$  - значение  $C_D$  при  $D = 3000$  км, где  $D$  – расстояние в километрах по дуге большого круга.

Вышеприведенные формулы применяются для расчета основной максимальной применимой частоты, х-волны при расстоянии ноль, о-волны при расстоянии  $d_{max}$  и выше, а также для некоторых составных волн при промежуточных расстояниях. Соответствующая основная максимальная применимая частота с о-волной дается для всех расстояний путем исключения последнего члена в  $f_H$  из первой формулы.

Ионосферное распространение посредством слоя  $F_1$  играет существенную роль при длине трасс передачи 2000-3400 километров на средних и высоких широтах в летние месяцы. Для указанных расстояний передачи основная максимальная применимая частота слоя  $F_1$  определяется как произведение величины  $f_0F_1$  в средней точке трассы и М-фактора  $M_{F1}$ , который был введен при вычислении методом лучевого трассирования плотности электронов в зависимости от высотных профилей, полученных на основе репрезентативных ионограмм, записанных в полуденное время на средних и высоких широтах. Предполагается, что М-факторы применимы для всех значений зенитного угла солнца, его можно определить с помощью следующих числовых выражений:

$$M_{F_1} = J_0 - 0,01(J_0 - J_{100})R_{12}, \text{ где:}$$

$$J_0 = 0,16 + 2,64 \times 10^{-3}D - 0,4 \times 10^{-6}D^2,$$

$$J_{100} = 0,52 + 2,69 \times 10^{-3}D - 0,39 \times 10^{-6}D^2, \text{ где:}$$

$D$  - расстояние от 2000 до 3400 километров по дуге большого круга.

На трассах длиной до 2000 километров важным фактором ионосферного распространения является однократное отражение от слоя  $E$ . Основную максимальную применимую частоту слоя  $E$  для конкретной моды распространения можно определить путем умножения значения  $f_0E$  в середине трассы на М-фактор  $M_E$ . М-фактор можно определить, основываясь на расчете траектории луча для параболической модели  $E$ -слоя при  $h_mE = 110$  километров,  $u_mE = 20$  километров и при условии, что влиянием магнитного поля Земли можно пренебречь, следующим образом:

$$M_E = 3,94 + 2,8x - 1,7x^2 - 0,6x^3 + 0,96x^4, \text{ где:}$$

$$x = \frac{D-1150}{1150}, \text{ где:}$$

$D$  – расстояние в километрах вдоль дуги большого круга.

Максимальная применимая частота слоя 2Е для расстояний от 2000 до 4000 километров принимается равной значению  $E(2000)$ МПЧ, выраженному через  $f_oE$  в середине трассы.

Для целей прогнозирования рабочей максимальной применимой частоты в режиме распространения посредством моды  $F_2$  выражается через основную максимальную применимую частоту. В Таблице 3 дается отношение рабочей максимальной применимой частоты к основной максимальной применимой частоте для различных времен года, времени суток и значений мощности излучаемой передатчиком. Эти отношения могут использоваться в тех случаях, когда отсутствует конкретный опыт для рассматриваемой схемы. Когда рабочая максимальная применимая частота определяется с помощью моды Е или  $F_1$ , она принимается равной соответствующей основной максимальной применимой частоте.

Таблица 3 - Отношение рабочей МПЧ к основной МПЧ

	Лето		Равноденствие		Зима	
Эквивалентная изотропно излучаемая мощность (дБ/Вт)	Ночь	День	Ночь	День	Ночь	День
$\leq 30$	1,20	1,10	1,25	1,15	1,30	1,20
$> 30$	1,25	1,15	1,30	1,20	1,35	1,25

Оптимальная рабочая частота, оценивается через рабочую максимальную применимую частоту с использованием коэффициента преобразования  $F_1$ , который принимается равным 0,95, если основная максимальная применимая частота для трассы определяется модой Е или  $F_1$ , и берется из Таблицы 2, если основная максимальная применимая частота для трассы определяется модой  $F_2$ .

Прогнозируемая напряженность поля является месячным медианным значением, взятым по выборке из всех дней месяца. Процедура прогнозирования состоит из трех частей, в зависимости от протяженности трассы.

Медианное значение напряженности поля определяется как:

$$E_w = 136,6 + p_t + G_t + 20 \log f - L_b, \text{ где}$$

$f$  — частота передачи (МГц);

$p_t$  — мощность передатчика (кВт);

$G_t$  — усиление передающей антенны для требуемого азимута и угла места ( $\Delta$ ) по отношению к изотропной антенне (дБ);

$L_b$  — потери основной передачи по траектории луча для рассматриваемой моды, определяемые как:  $L_b = 32,45 + 20 \log f + 20 \log p' + L_i + L_m + L_g + L_h + L_z$ , где:

$p'$  — виртуальная наклонная дальность (км):

$$p' = 2R_0 \sum_1^n \left[ \frac{\sin(d/2R_0)}{\cos[\Delta + (d/2R_0)]} \right];$$

$L_i$  — потери за счет поглощения (дБ) для  $n$ -скачковой моды, определяемые как:

$$L_i = \frac{n(1 + 0,006R_{12}) \cdot \sec i}{(f + f_L)^2} \cdot \frac{1}{k} \sum_{j=1}^k AT_{noon} \cdot \frac{F(\chi_j)}{F(\chi_{jnoon})} \cdot \varphi_n \left( \frac{f_v}{f_0 E} \right), \text{ где:}$$

$F(\chi_j) = \cos p (0,881\chi)$  или 0,02, в зависимости от того, какая величина больше, где:  $f_v = f \cos(i)$ ;

$i$  — угол падения на высоте 110 километров;

$k$  — количество контрольных точек;

$f_L$  — среднее из значений электронной гирочастоты в контрольных точках, вдоль продольной составляющей магнитного поля Земли на высоте 100 км. Для магнитного наклонения,  $I$ , данное значение может быть рассчитано по формуле:

$$f_L = |fH \cdot \sin(I)|, \text{ где}$$

$\chi_j$  — солнечный зенитный угол в  $j$ -й контрольной точке или  $102^\circ$ , в зависимости от того, какая величина меньше. При расчете этого параметра учитывается зависимость от времени для середины рассматриваемого месяца;

$\chi_{jnoon}$  — значение  $\chi_j$  в полдень по местному времени;

$AT_{noon}$  — коэффициент поглощения в полдень по местному времени при  $R_{12} = 0$ , значения которого в виде функции от географической широты и месяца;

$\varphi_n \left( \frac{f_v}{f_0 E} \right)$  – коэффициент проникновения в поглощающий слой, в виде функции от отношения эквивалентной частоты вертикально падающей волны  $f_v$ , к  $f_0 E$ ;

$p$  – показатель дневного поглощения, в виде функции от модифицированного магнитного наклонения, рассчитанного на высоте 100 км, и месяца.

Расчетные формулы позволяют нам полностью убедиться в автономности и высокой точности прогнозов программного обеспечения. Смоделируем линии связи коротковолнового диапазона на основе существующих маршрутов полетов в Архангельской области.

Таблица 4 - Расчет максимальной применимой частоты

№ п/п	Трасса	Длина трассы, км	Координаты передатчика		Координаты приемника		МПЧ, МГц	Время связи при частоте 3,5 МГц
			Широта	Долгота	Широта	Долгота		
1.	Архангельск (Васьково) – Пертоминск	114	64° 44'	40° 42'	64° 79'	38° 42'	4,34	06:40 – 12:29
2.	Архангельск (Васьково) – Ручьи	148	64° 44'	40° 42'	66° 02'	41° 21'	4,34	06:36 – 12:22
3.	Архангельск (Васьково) – Лопшеньга	155	64° 44'	40° 42'	64° 98'	37° 69'	4,35	06:40 – 12:31
4.	Архангельск (Васьково) – Верхняя Золотица	156	64° 44'	40° 42'	65° 68'	40° 36'	4,34	06:38 – 12:24
5.	Архангельск (Васьково) – Летняя Золотица	182	64° 44'	40° 42'	64° 96'	36° 83'	4,38	06:39 – 12:36
6.	Архангельск (Васьково) – Соловки	214	64° 44'	40° 42'	65° 03'	35° 73'	4,45	06:36 – 12:45
7.	Архангельск (Васьково) – Койда	233	64° 44'	40° 42'	66° 37'	42° 55'	4,42	06:28 – 12:27
8.	Архангельск (Васьково) – Мезень	254	64° 44'	40° 42'	65° 87'	44° 21'	4,42	06:19 – 12:40
9.	Архангельск (Васьково) – Лешуконское	270	64° 44'	40° 42'	64° 89'	45° 72'	4,5	06:08 – 12:43
10.	Архангельск (Васьково) – Мосеево	311	64° 44'	40° 42'	65° 77'	46° 20'	4,54	06:06 – 12:47
11.	Архангельск (Васьково) – Несь	320	64° 44'	40° 42'	66° 59'	44° 66'	4,53	06:10 – 12:49
12.	Архангельск (Васьково) – Чижа	320	64° 44'	40° 42'	67° 08'	44° 36'	4,52	06:12 – 12:49
13.	Архангельск (Васьково) – Сафоново	376	64° 44'	40° 42'	65° 67'	47° 67'	4,7	05:52 – 12:58
14.	Архангельск (Васьково) – Ома	382	64° 44'	40° 42'	66° 65'	46° 50'	4,67	05:57 – 12:58
15.	Архангельск (Васьково) – Нижняя Пеша	437	64° 44'	40° 42'	66° 73'	47° 72'	4,81	05:47 – 13:08
16.	Архангельск (Васьково) – Шойна	440	64° 44'	40° 42'	67° 86'	44° 15'	4,75	05:59 – 13:12
17.	Архангельск (Талаги) – Котлас	499	64° 60'	40° 72'	61° 24'	46° 70'	5,27	05:14 – 13:45
18.	Архангельск (Талаги) – Сыктывкар	600	64° 60'	40° 72'	61° 65'	50° 85'	5,59	04:53 – 13:54

Итоговые данные расчета приложены в Таблице 4. Анализируя полученные данные делаем вывод, что максимальные рабочие частоты не превышают значение 9,07 МГц.

Проведем расчет минимального количества антенн зенитного излучения для обеспечения коротковолновой связью исследуемого региона. Остановим выбор на мобильной рамочной антенне коротковолнового диапазона "КРУГ", которая обладает такими преимуществами как:

- имеет малые габаритные размеры;
- является антенной быстрого развёртывания;
- обеспечивает всенаправленную радиосвязь без «мертвых зон» на трассах до 750 км;
- рассчитана на работу в сложных климатических условиях северных широт.

Класс воздушного пространства G, как правило, распространяется до высоты 4500 метров. Рассчитаем радиус действия антенны «КРУГ» на высоте полета 4500 метров, учитывая, что в дневное время отражение декаметровой волны происходит от слоя D, расположенного на высоте 60 – 90 километров, а в ночное от слоя F<sub>2</sub>, максимум ионизированных слоев которого располагается на высоте 200 километров. С учетом этого произведем расчет и разместим антенны на карте Архангельской области.

В первую очередь определим радиус действия антенны у поверхности земли в зависимости от времени суток. В дневное время:

Из определения основных тригонометрических функций, определим расстояние, пройденное излученной волной:

$$\cos 60 = \frac{60}{c}, c = 120 \text{ километров};$$
$$\frac{r_{3Д}}{2} = \sqrt{120^2 - 60^2}, r = 208 \text{ километров.}$$

Аналогично рассчитаем для ночного времени:

$$\cos 60 = \frac{200}{c}, c = 400 \text{ километров};$$
$$\frac{r_{3Н}}{2} = \sqrt{400^2 - 200^2}, r = 395 \text{ километров.}$$



Минимальное условие необходимое для осуществления радиосвязи в любое время суток будет выполняться при расчете радиуса действия антенны на высоте 4500 метров в дневное время суток.

$$\cos 60 = \frac{55,5}{c}, c = 111 \text{ километров};$$

$$\frac{r_{4500}}{2} = \sqrt{120^2 - 60^2}, r = 192 \text{ километра.}$$

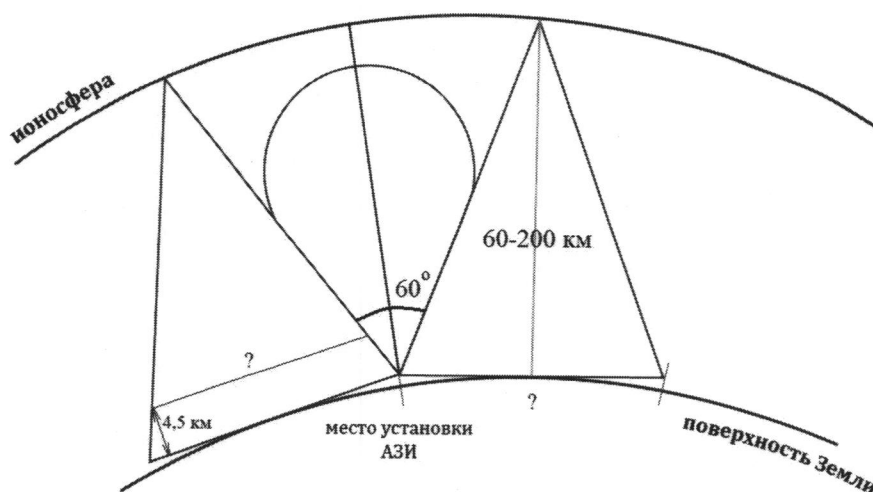


Рисунок 4 – Расчет радиуса действия выбранной антенны зенитного излучения



Рисунок 5 – Покрывтие территории Архангельской области антеннами зенитного излучения



Расчет показал, что для полного покрытия радиосвязью Архангельской области необходимо 4 антенны зенитного излучения.

**В третьей главе** проанализирована безопасность полетов воздушных судов местных воздушных линий, как критерий демонстрирующий наличие ранее неисследованной проблемы при выполнении полетов.

На основе отчетов Межгосударственного авиационного комитета о произошедших авиационных происшествиях в коммерческой гражданской авиации на протяжении с 2010 по 2018 годы исследуем, статистику авиационных происшествий и сформулируем выводы о имеющейся динамике безопасности полетов воздушных судов местных воздушных линий. Статистические данные представлены в виде графиков, изображенных на Рисунке 6 и 7. Необходимо учитывать, что расследования авиационных происшествий за 2019 - 2022 годы не завершены, поэтому произвести обработку данных в полном объеме и получить истинную картину за последние три года не представляется возможным, в связи с чем исследования опираются на итоги более ранних лет.



Рисунок 6 – Количество авиационных происшествий, произошедших с ВС МВЛ в период с 2010 по 2018 год



Рисунок 7 – Количество жертв авиационных происшествий, произошедших с ВС МВЛ в период с 2010 по 2016 годы

Произведем расчёт показателей безопасности полетов. Основные расчёты приведены в методических рекомендациях по определению и расчету показателя безопасности воздушного движения.

Для оценки безопасности полетов при аэронавигационном обслуживании используется показатель риска катастроф воздушных судов, который определяется по формуле:

$$R_{\text{катастр.при АНО}} = \frac{N_{\text{катастр.ВС из-за АНО}}}{T_{\text{налет ВС}}}, \text{ где:}$$

$N_{\text{катастр.ВС из-за АНО}}$  – количество катастроф воздушных судов, связанных с недостатками при аэронавигационном обслуживании;

$T_{\text{налет ВС}}$  – налет воздушных судов, выполненный за рассматриваемый период (обычно за год);

$R_{\text{катастр.при АНО}}$  – показатель риска катастроф воздушных судов.

Основываясь на обработанных статистических данных об авиационных инцидентах, связанных с аэронавигационным обслуживанием, можно определить показатель безопасности воздушного движения, как риск инцидентов с воздушными судами по формуле:

$$R_{\text{инцид.при АНО}} = \frac{N_{\text{инцид.ВС из-за АНО}}}{T_{\text{налет ВС}}}, \text{ где:}$$

$N_{\text{инцид.ВС из-за АНО}}$  – количество инцидентов с воздушными судами, связанных с недостатками в аэронавигационном обслуживании;

$T_{\text{налет ВС}}$  – налет воздушных судов, выполненный за рассматриваемый период (обычно за год);

$R_{\text{инцид.при АНО}}$  – риск инцидентов с воздушными судами при аэронавигационном обслуживании.

Так как, авиационные регуляторы не предоставляют в открытом доступе сведения по налету воздушных судов, выполняющих коммерческие рейсы по маршрутам местных воздушных линий, использовать общепринятые показатели безопасности полетов невозможно. Для оценки необходимости оснащения

воздушных судов и аэродромов радионавигационным оборудованием рассчитаем процентное соотношение авиационных происшествий, основная или косвенная причина которых связана с недостаточным оснащением воздушных судов или аэродромов радионавигационным оборудованием от общего числа авиационных происшествий, произошедших с воздушными судами местных воздушных линий.

Таблица 5 – Соотношение авиационных происшествий с ВС МВЛ в РФ, %

2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
33,33	31,25	32,43	23,33	31,25	27,27	38,88	45	38,09

Детальный разбор отчетов о проведенных расследованиях авиационных происшествий и инцидентов Межгосударственного авиационного комитета, произошедших с коммерческими воздушными судами на местных воздушных линиях в Российской Федерации, позволяет сформулировать вывод, что с 2010 по 2018 года произошло 219 событий, из них 72 события непосредственно или косвенно связаны с недостаточным оснащением воздушных судов или аэродромов радионавигационным оборудованием. Среднее арифметическое значение процентного соотношения авиационных происшествий по исследуемому вопросу в период с 2010 по 2018 год составляет 33,42 % от общего числа авиационных происшествий на местных воздушных линиях. Итоговый результат показывает отрицательную динамику существующего уровня безопасности полетов воздушных судов на местных воздушных линиях, а сравнение показателей за девять лет наглядно указывают на ее сохранение. Следовательно, в 33% случаев отсутствие информации о метеорологических условиях в конкретный момент времени, потерю ориентации в воздушном пространстве, а также, ошибочные действия членов летного экипажа, можно предотвратить посредством оснащения воздушных судов и аэродромов радиотехническими средствами связи и навигации, способные сохранять работоспособность в сложных климатических и географических условиях.

Рассчитаем относительный показатель, а именно отношение количества авиационных происшествий к количеству зарегистрированных

эксплуатируемых воздушных судов. Проанализируем безопасность полетов в Российской Федерации в 2016 году. По данным Федерального агентства воздушного транспорта в этот год отечественными авиакомпаниями эксплуатировалось 1088 магистральных и 1626 коммерческих воздушных судна на местных воздушных линиях. Следовательно, искомый коэффициент для магистральной авиации составляет 0,00735 и 0,01107 для «малой авиации». Очевидно, что статистический показатель для авиации местных воздушных линий превышает более чем в 1,5 раза коэффициент для магистральной авиации, а значит и уровень безопасности полетов ниже.

Сравним безопасность полетов «малой авиации» в Российской Федерации со странами имеющие схожие климатическими условиями. По данным NTSB, в 2016 году в коммерческой гражданской авиации произошло 31 авиационное происшествие с магистральными воздушными судами на 6025 зарегистрированных в реестре воздушных судов. Следовательно, относительный коэффициент произошедших авиационных происшествий на каждое зарегистрированное воздушное судно будет равен 0,00514, что в 1,43 раза меньше в сравнении с показателями отечественной ГА.

Исследования направленные на изучение статистических данных позволяют сформулировать вывод, что, анализируя количество авиационных происшествий с воздушными судами «малой авиации» необходимо изучить возможность разработки экономически доступного радиотехнического средства, во избежание удорожания стоимости и без того убыточных региональных авиаперевозок, позволяющего стать альтернативой спутниковой радионавигационной системе там, где отсутствует радиолокационный контроль и решить задачу обеспечения речевой связи диспетчер – пилот – диспетчер и передачи данных о местоположении ВС по линии передачи данных земля – борт – земля.

**Основные результаты НКР.** В работе проанализированы вопросы перспектив развития «малой авиации», как отдельного вида гражданской авиации, исследованы вопросы совершенствования нормативного правового

регулирования при обслуживании воздушного движения воздушных судов на местных воздушных линиях. Разработан прикладной метод, позволяющий нивелировать главный недостаток декаметровых волн – высокое требование стабилизации частоты.

Были проведены:

- анализ нормативного правового регулирования и структуры воздушного пространства Российской Федерации с структурой воздушного пространства США и Канады;

- дедуктивным методом проанализированы авиационные события, произошедшие с воздушными судами местных воздушных линий на территории РФ;

- синтезирована статистика авиационных происшествий, произошедших с воздушными судами местных воздушных линий, осуществлявших коммерческие полеты;

- исследованы и применены методики расчёта показателей безопасности полетов воздушных судов;

- на основе рекомендаций Международного союза электросвязи разработана предварительная методика расчета частот декаметрового диапазона волн;

- проведен расчет частот для системы на основе антенн зенитного излучения, а также, рассчитано их предварительное количество;

- проведён расчет частоты ошибочных битов и интенсивности появления ошибочных битов при передаче данных;

- разработан код программы на языке программирования Python, который является универсальным и совместим с действующими операционными системами КСА УВД.

Результаты работы позволяют сформулировать следующие **выводы**:

- полеты всех воздушных судов в классах воздушного пространства А и С обеспечиваются диспетчерским обслуживанием. Воздушные суда, выполняющим полеты в классе G, по запросу предоставляется полетно-

информационное обслуживание, постоянное диспетчерское обслуживание не предусмотрено;

- необходимо дать определение «малой авиации» и утвердить его в положениях воздушного кодекса Российской Федерации;
- законодательно дать определение «коммерческим полетам» воздушных судов местных воздушных линий (или малой авиации), как отдельному виду авиации, не относящемуся к авиации общего назначения;
- коммерческие полеты воздушными судами местных воздушных линий должны сопровождаться диспетчерским обслуживанием и эшелонированием;
- необходимо рассмотреть возможность оснащения аэродромов местных воздушных линий радионавигационным оборудованием, позволяющим осуществлять дистанционное управление воздушным движением, для снижения количества авиационных происшествий, причиной которых непосредственно или косвенно является недостаточное ими оснащение;
- разработанная методика расчета и система на базе АЗИ являются универсальными для всех регионов Российской Федерации, поэтому могут способствовать снижению рисков возникновения авиационных происшествий при полетах ВС МВЛ.

Реализация данных мер способствует снижению рисков возникновения авиационных происшествий с воздушных судов местных воздушных линий лишь в том случае, если все они будут законодательно утверждены в соответствующих пунктах Федеральных правил использования воздушного пространства и положениях Воздушного кодекса Российской Федерации.