

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
**«БЕЛГОРОДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**
(Н И У « Б е л Г У »)

ИНСТИТУТ ИНЖЕНЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И ЕСТЕСТВЕННЫХ НАУК

КАФЕДРА ИНФОРМАЦИОННО-ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ
СИСТЕМ И ТЕХНОЛОГИЙ

**ОРГАНИЗАЦИЯ МОБИЛЬНОЙ СЕТИ СВЯЗИ НА ОСНОВЕ
БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ**

Выпускная квалификационная работа
обучающегося по направлению подготовки 11.03.02 Инфокоммуникационные
технологии и системы связи
очной формы обучения, группы 07001410
Миноварова Тимура Ренатовича

Научный руководитель
канд. техн. наук, доцент
кафедры
Информационно-
телекоммуникационных
систем и технологий
НИУ «БелГУ» Болдышев А.В.

Рецензент
Инженер электросвязи участка
систем коммутации №1
г. Белгорода Белгородского
филиала ПАО «Ростелеком»
Галактионов И.В.

БЕЛГОРОД 2018

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
**БЕЛГОРОДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ**
(НИУ «БелГУ»)

ИНСТИТУТ ИНЖЕНЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И ЕСТЕСТВЕННЫХ НАУК
КАФЕДРА ИНФОРМАЦИОННО-ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ СИСТЕМ И ТЕХНОЛОГИЙ
Направление 11.03.02 Инфокоммуникационные технологии и системы связи
Профиль Сети связи и системы коммутации

Утверждаю
Зав. кафедрой

« ____ » _____ 2018 г.

ЗАДАНИЕ НА ВЫПУСКНУЮ КВАЛИФИКАЦИОННУЮ РАБОТУ

Миноварова Тимура Ренатовича

(фамилия, имя, отчество)

1. Тема ВКР «Организация мобильной сети связи на основе беспилотных летательных аппаратов»

Утверждена приказом по университету от « ____ » _____ 2018 г. № ____

2. Срок сдачи студентом законченной работы ____.

3. Исходные данные:

объект проектирования – БПЛА;

тип беспилотного летательного аппарата – октокоптер.

4. Содержание расчетно-пояснительной записки (перечень подлежащих разработке вопросов):

4.1 Принципы организации мобильных сетей связи

4.2 Применение БПЛА в заданиях организации LTE-сети

4.3 Расчёт характеристик для организации мобильной 4G-сети с помощью БПЛА

4.3.1 Расчёт зон покрытия 4G-сети

4.3.2 Расчёт пропускной способности 4G-сети

4.3.3 Расчет количества подключаемых абонентов

4.3.4 Расчёт зоны радиопокрытия

4.4 Выбор оборудования для организации 4G-сети

4.5 Расчёт энергопотребления и автономной работы БПЛА с необходимым оборудованием для организации 4G-сети

4.6 Технико-экономическое обоснование проекта

4.7 Меры по обеспечению охраны труда, техника безопасности и охрана окружающей среды

5. Консультанты по работе с указанием относящихся к ним разделов

Раздел	Консультант	Подпись, дата	
		Задание выдал	Задание принял
4.1-4.7	<i>канд. техн. наук доцент каф. ИТСиТ Болдышев А.В.</i>		

6. Дата выдачи задания _____

Руководитель

*канд. техн. наук, доцент
кафедры Информационно-телекоммуникационных
систем и технологий,
НИУ «БелГУ» _____ А.В. Болдышев*
(подпись)

Задание принял к исполнению _____
(подпись)

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	3
1 ПРИНЦИПЫ ОРГАНИЗАЦИИ МОБИЛЬНЫХ СЕТЕЙ СВЯЗИ	6
2 ПРИМЕНЕНИЕ БПЛА В ЗАДАНИЯХ ОРГАНИЗАЦИИ LTE-СЕТИ	15
3 РАСЧЁТ ХАРАКТЕРИСТИК ДЛЯ ОРГАНИЗАЦИИ МОБИЛЬНОЙ 4G-СЕТИ С ПОМОЩЬЮ БПЛА	22
3.1 Расчёт зон покрытия 4G-сети	22
3.2 Расчёт пропускной способности 4G-сети	22
3.3 Расчет количества подключаемых абонентов	26
3.4 Расчёт зоны радиопокрытия	28
4 ВЫБОР ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ОРГАНИЗАЦИИ 4G-СЕТИ	31
5 РАСЧЁТ ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЯ И АВТОНОМНОЙ РАБОТЫ БПЛА С НЕОБХОДИМЫМ ОБОРУДОВАНИЕМ ДЛЯ ОРГАНИЗАЦИИ 4G-СЕТИ	37
6 ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПРОЕКТА	42
7 МЕРЫ ПО ОБЕСПЕЧЕНИЮ ОХРАНЫ ТРУДА, ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ И ОХРАНА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ	47
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	49
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	50

					<i>11070006.11.03.02.421.ПЗВКР</i>			
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Организация мобильной сети связи на основе беспилотных летательных аппаратов	Лит.	Лист	Листов
Разработал		Миноваров Т.Р.						
Проверил		Болдышев А.В.					2	51
Рецензент		Галактионов ИВ				<i>НИУ «БелГУ» гр.07001410</i>		
Н.контр.		Болдышев А.В.						
Утвердил		Жиляков Е.Г.						

ВВЕДЕНИЕ

Сегодня мы уже перестаём себя чувствовать комфортно, если у нас под рукой нет устройства, с помощью которого мы можем совершать выход в Интернет сеть в любом месте и в любое время, где бы то они не находились. Что свидетельствует о том, что Интернет основательно проник в жизнь современного информационного общества. Для того, чтобы удовлетворить эту человеческую потребность была создана технология беспроводного доступа в Интернет, которая окутала своими сетями практически весь наш мир. В свою очередь, Россия не стала исключением. Однако, еще не вся территория необъятной страны имеет доступ даже к проводному интернету, но процесс подключения дальних и труднодоступных уголков страны к всемирной сети не стоит на месте и неумолимо движется вперед.

Расширить зону покрытия сети можно куда эффективнее, чем всего несколько лет назад, к примеру, используя беспилотные летательные аппараты, (БПЛА или дроны). То есть, небольшие, но достаточно мощные передатчики можно прикрепить к беспилотникам. Выполняя функцию ретрансляции телекоммуникационных сигналов дроны могут стать частью телекоммуникационной инфраструктуры операторов связи.

Основой предоставления телеком-услуг на базе дронов становятся миниатюрные мобильные базовые станции (МБС) стандарта LTE (4G), которые позволят обеспечивать сотовую связь и беспроводное интернет соединение в местах, где доступ к сотовой сети ограничен или сигнал сети низкого качества в отдаленных районах, а также во время чрезвычайных ситуаций или на специальных мероприятиях, где время ограничено. Например, в результате наводнений, ураганов или землетрясений без сотовой связи нередко остаются обширные территории. При этом быстрого восстановления коммуникаций как правило не производится, поскольку различным службам приходится решать ряд первоочередных задач, включая восстановление жилой инфраструктуры и

					<i>11070006.11.03.02.421.ПЗВКР</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		3

систем подачи питьевой воды. В России покрытие страны сотовыми сетями составляет около 10%, и помочь отдаленным поселениям могут именно мобильные станции на дронах.

Целью данной выпускной квалификационной работы (ВКР) является проработка проекта Беспилотного Летательного Аппарата (БПЛА) для организации мобильной сети связи.

В процессе работы над выполнением ВКР должны быть решены следующие задачи:

1. Произвести обзор существующих принципов организации сети;
2. Выбрать технологию мобильной сети связи;
3. Рассмотреть применение БПЛА в задачах организации 4G-сети;
4. Рассчитать зону радиопокрытия, пропускную способность, количество подключаемых абонентов к 4G-сети;
5. Выбрать необходимое оборудование для организации мобильной сети связи на основе БПЛА;
6. Рассчитать энергопотребление и автономную работу БПЛА с необходимым оборудованием для организации 4G-сети;
7. Показать варианты организации сети с использованием БПЛА.

ВКР содержит введение, 7 разделов основного текста, заключение, список использованной литературы. Выполненная работа содержит 12 рисунков, 9 таблиц и 30 формул.

Первый раздел включает в себя рассмотрение основных теоретических вопросов по принципам организации мобильных сетей связи. Сюда входит и описание возможных вариантов по организации мобильной сети связи, развитие мобильной сети, обоснование выбора технологии, и предлагаемое оборудование. Сделаны выводы о дальнейших компонентах для организации мобильной сети с помощью БПЛА. Также приведено подробное описание стандарта LTE - беспроводной высокоскоростной передачи данных для

					<i>11070006.11.03.02.421.ПЗВКР</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		4

мобильных телефонов и других терминалов, работающих с данными, а также ознакомлением с улучшенным пакетным ядром сотовой сети - EPC.

Во втором разделе обосновывается актуальность выбранной темы выпускной квалификационной работы в заданиях организации мобильной сети связи с помощью беспилотных летательных аппаратов, а также анализ существующих вариантов БПЛА по организации мобильной сети LTE, а также обзор характеристик для выбора подходящего БПЛА.

В состав третьего раздела входят требования для организации мобильной сети связи с помощью октокоптера и их расчёт. Был произведен расчет пропускной способности базовой станции, а также определено общее количество мобильных базовых станций, необходимых для обслуживания 500 абонентов. Был рассчитан радиус действия одного радиомодуля, на основе чего была выявлена площадь покрытия мобильно сети.

В четвертом разделе произведен выбор необходимого оборудования для организации мобильной сети связи с помощью БПЛА, а также представлены варианты по организации мобильной сети с использованием октокоптера.

В пятом разделе произведен расчёт энергопотребления и автономной работы БПЛА с необходимым оборудованием для организации мобильной сети 4G.

В шестом разделе было произведено технико-экономическое обоснование проекта. Были рассчитаны капитальные вложения в проект, расходы на комплектацию и эксплуатацию в течение года.

В последнем разделе была произведена экологическая экспертиза работы, приведены меры по обеспечению охраны труда, техника безопасности и охрана окружающей среды.

В заключении подводятся итоги о проделанной работе, результаты и выводы сопоставляются задачам, формулируемым в начале проекта.

					<i>11070006.11.03.02.421.ПЗВКР</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		5

1 ПРИНЦИПЫ ОРГАНИЗАЦИИ МОБИЛЬНЫХ СЕТЕЙ СВЯЗИ

Существует использование атмосферных спутников (АС) как в качестве единичных дронов, ретранслирующих сигнал в привязке к конкретной местности, так и в виде целой группировки из десятков, сотен и даже тысяч АС, покрывающих радиосигналом отдельные районы, страны и целые регионы. В качестве систем связи и передачи могут использоваться радио или оптическая связь. Сегодняшние модели атмосферных спутников представлены планерами с крыльями от нескольких метров до десятков метров в длину, несущими сотни и тысячи солнечных панелей. Но размеры дронов и их цена будут уменьшаться со временем, вместе с прогрессом в области повышения эффективности солнечных панелей и энергоёмкости аккумуляторных батарей.

В одном из докладов Международного союза электросвязи (ITU), сказано, что в 2016 году 60 процентов людей во всем мире не имели доступа к Интернету. Самое печальное заключается в том, что в ближайшие годы большинство из этих "отлучённых от сети" и не получат доступа, потому что расходы на строительство наземной инфраструктуры в районах их проживания намного превосходят потенциальную выгоду. Сигналом 2G может воспользоваться более 90 процентов населения Земли, но к оставшимся 10 процентам эти сети едва ли придут в ближайшее время - для связистов эти проекты нерентабельны.

Для решения задачи процесса организации мобильной сети связи необходимо уметь рассчитывать характеристики сигнала в любой точке пространства в пределах всей зоны обслуживания, а также определять оптимальное место установки и число базовых станций. [1, 14]

На сегодняшний день развитие всепроникающих сенсорных сетей в рамках концепции Интернета, а в частности так называемых летающих сенсорных сетей, построенных на новейших технологиях беспроводной связи,

					<i>11070006.11.03.02.421.ПЗВКР</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		6

приобретает огромную популярность и находит своё применение в различных сферах человеческой деятельности. Развитие в области вычислительных беспроводных сетей, а также постоянное непрерывное совершенствование вычислительных программно-аппаратных средств, позволяет говорить о возможности появления «умных городов», построенных по принципу межмашинных коммуникации (от англ. Machine to Machine, M2M), что обусловлено потребностью в автоматизации производственных, технологических, экономических, общественных и других процессов человеческой деятельности. [2]

Необходимость в решении вышеупомянутых задач ставит вопрос о необходимости проектировании и развитии более сложной структуры сенсорных сетей. Так ЛСС, являясь разновидностью ВСС, включает в себя сразу два сегмента сенсорной сети - наземная сегмент сенсорной сети (НСС) на основе стационарных или автономных сенсорных узлов и воздушный сегмент на основе беспилотных летательных аппаратов (БПЛА), снабженных автономными узлами связи. Пример ЛСС представлен на (рисунке 1.1).

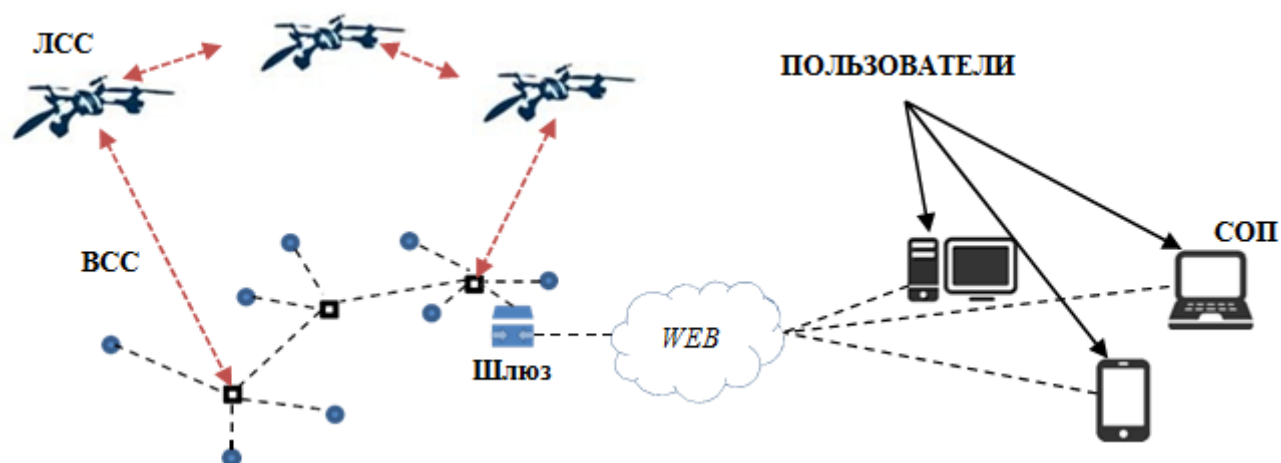


Рисунок 1.1 - Пример построения ЛСС и её взаимодействия с сетью общего пользования Интернет

Данный подход к построению сетей даёт возможность решения сразу нескольких освещенных задач в рамках «умного города»: обеспечение

мониторинга опасных для здоровья и жизни человека объектов городской инфраструктуры, организацию и обслуживание сетевых узлов в труднодоступных местах, увеличения срока жизненного цикла сенсорной сети (в случае использования автономных узлов), эффективного сбора информации за счет оптимизации траектории движения БПЛА. [7]

Также, БПЛА используют в качестве мобильного шлюза ВСС в составе распределённой системы управления. Рассмотрим случай использования БПЛА в качестве мобильного шлюза ВСС в рамках распределённой системы управления. Структура РСУ с применением технологий M2M представлена (на рисунке 1.2). [15]

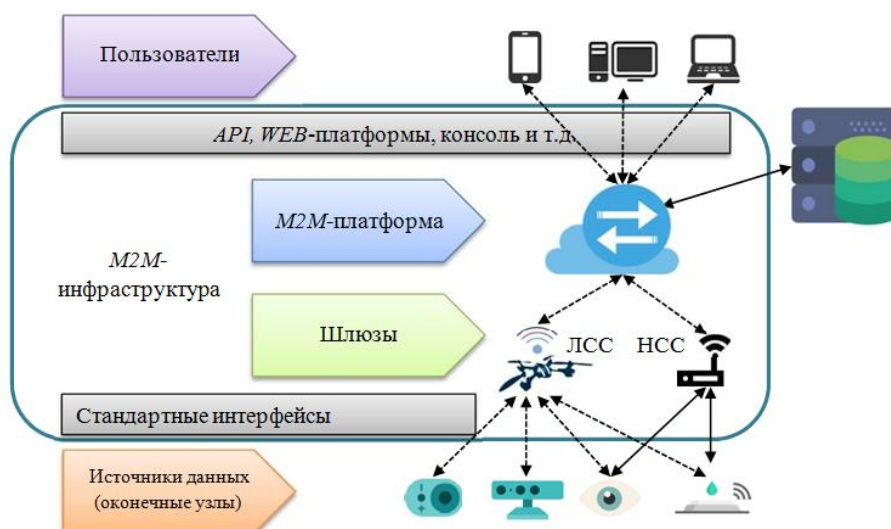


Рисунок 1.2 - Структура РСУ с применением технологий M2M

Данные со всех оконечных узлов всепроникающих сенсорных сетей с помощью специализированных шлюзов, в качестве них могут выступать как стационарные, так и мобильные устройства (БПЛА), передаются в облачный сервис (рисунок 1.3), где в последующем они аккумулируются и хранятся для дальнейшего использования. Важно отметить, что в рамках концепции M2M/IoT, оснащенный камерой и сенсорным узлом связи БПЛА способен передавать данные соседним узлам (как наземного, так и воздушного сегмента сети) для координации своего местоположения, корректировки маршрута.

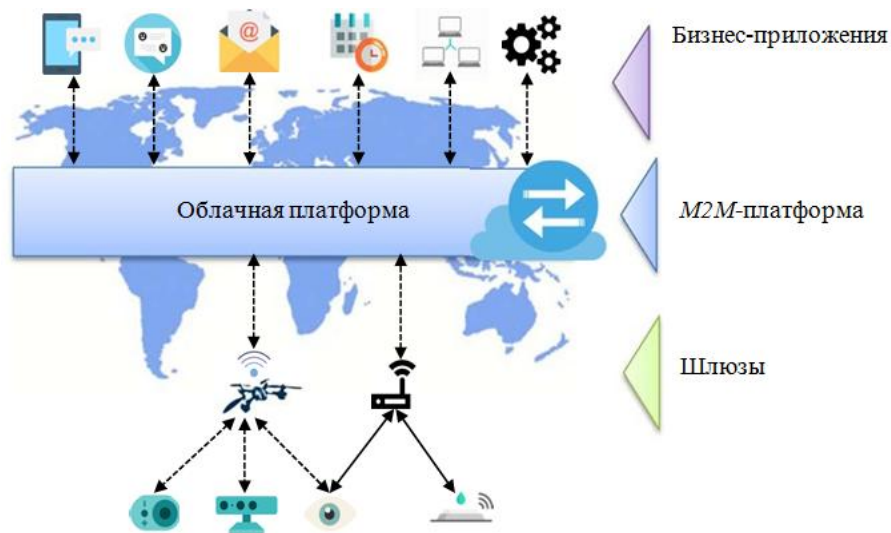


Рисунок 1.3 - Пример обмена данными между M2M шлюзами и пользователями посредством передачи данных, их хранения и обработки в облачной платформе

Применение БПЛА в качестве шлюзов значительно упрощает процесс сбора данных с конечных узлов за счет мобильности аппаратов, что позволяет добиться большей эффективности и снижения затрат при проектировании и вводе в действие РСУ с целью решения задач автоматизации.

В процессе эволюции мобильные сети пережили несколько поколений: от аналоговых систем до цифровых с большими скоростями передачи данных, к примеру сеть LTE: по своей спецификации сети четвертого поколения должны обеспечивать скорости передачи данных в стационарных устройствах до 1Гбит/сек, в мобильных устройствах до 100Мбит/сек. Стандарты WiMAX и LTE относят к сетям 4G, однако это верно только отчасти. Несмотря на то, что в отличие от сетей 3G в них используется принципиально новые схемы мультиплексирования – OFDMA, практически вся пропускная способность отдана под передачу данных (голосовые вызовы могут осуществляться посредством VoIP), но всё таки LTE и WiMAX пока не обеспечивают требуемую скорость передачи данных.

В скором времени, сеть нового поколения 5G даст возможность обеспечения высоких скоростей передачи данных, пропускной способности и ультрамалого времени задержки.

LTE по своей структуре отличается от сетей предыдущих поколений, более того, сама LTE постоянно эволюционирует в сторону увеличения скорости передачи данных, а так же надежности и стоимости оборудования. В сети LTE Adv. обновления коснулись как радиочасти, так и ядра сети. Новая сеть радиодоступа, следовательно новые базовые станции eNodeB, новый радио-интерфейс, а также отсутствие контроллера базовых станций (его функционал встроен в eNodeB). Обслуживаемый шлюз мобильной LTE - сети SGW осуществляет только пакетную коммутацию данных.

eNodeB (eNB) – базовая станция сети стандарта LTE. Она является аналогом NodeB для сети UMTS и BTS для сети GSM. Основной задачей eNodeB является преобразование сигнала пришедшего от SGW в высокочастотный сигнал и передать его через секторные антенны (антенну). Именно eNodeB отвечает за покрытие сети LTE и является шлюзом между абонентским терминалом и сетью LTE.

LTE представляет собой технологию на основе OFDM - модуляции, поддерживающую ширину полосы пропускания до 20 МГц и передачу с нескольких антенн - MIMO, предусматривающую формирование диаграммы направленности и пространственное мультиплексирование до четырех передающих антенн в нисходящем канале. [12]

В отличии от конкурирующего стандарта WiMAX, LTE является дальнейшим развитием сетей UMTS (HSDPA/HSUPA). Поэтому операторам, уже имеющим развернутую инфраструктуру сетей UMTS, для перехода на LTE достаточно просто сменить программное обеспечение. Сравнение LTE и WiMAX представлено в таблице 1, из которой видно, что стандарт LTE превосходит по ряду параметров стандарт WiMAX. Это в первую очередь связано с тем, что стандарт LTE был разработан на несколько лет позднее технологии WiMAX, в котором были учтены и исправлены ряд недостатков стандарта WiMAX (в таблице 1.1).

					<i>11070006.11.03.02.421.ПЗВКР</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		10

Таблица 1.1 - Сравнение технологии LTE и WiMAX

Характеристика	LTE	WiMAX	Влияние на систему
Многостанционный доступ	OFDMA на DL, SC-FDMA на UL	OFDMA на DL и UL	SC-FDMA: снижается пик-фактор, упрощается терминал, повышается КПД
Диспетчеризация частотных ресурсов	Селективная	Рандомизированная	Частотная селективная диспетчеризация - дополнительный энергетический выигрыш
Заголовки/служебная информация	Сравнительно малые заголовки	Достаточно большие заголовки	Снижение заголовков повышает спектральную эффективность
Объединение пакетов в HARQ	Incremental redundancy	Chase combining	Дополнительный энергетический выигрыш при использовании Incremental redundancy
Задержка на обработку пакетов	10 мс	30 мс	Упрощенная архитектура сети LTE позволяет снизить задержку
Адаптация системы к каналу	Высокая точность (1-2 дБ)	Грубая настройка (2 - 4 дБ)	Адаптация системы с высокой точностью повышает спектральную эффективность
Управление мощностью	Частичное управление мощностью	Классический алгоритм	Частичное управление мощностью - компромисс между пропускной способностью на краю и в сумме по соте
Переиспользование частот	Коэффициент 1	Коэффициент 3	Меньше коэффициент, выше спектральная эффективность

Сеть LTE предлагает мобильным провайдерам беспроводной широкополосный сервис нового поколения с уменьшенной стоимостью мегабит. Данный стандарт был специально разработан для совместной работы со всеми существующими сетями как технология, эволюционирующая из предыдущих поколений чтобы помочь провайдерам мобильной связи трансформировать свои сети в соответствии с потребностями связи. Рассматриваемый обладает рядом особенностей и преимуществ по сравнению с предыдущими стандартами сотовой связи. В их числе:

- а) большие пиковые скорости (на рисунке 1.4 представлено сравнение):
 - 1) 100 Мбит/с в направлении вниз (20 МГц, 2x2 MIMO);
 - 2) 50 Мбит/с - вверх (20 МГц, 1x2);

EDGE	WCDMA	HSPA	HSPA+	LTE
472 кб/с	2 Мбит/с	14 Мбит/с	42 Мбит/с	300 Мбит/с

Теоретическая пиковая скорость передачи данных

Рисунок 1.4- Пиковые скорости передачи стандартов сотовой связи

б) обслуживает как минимум 200 активных пользователей голосовыми услугами на каждые 5 МГц;

в) небольшие задержки меньше, чем 5 мс;

г) полоса пропускания. 4G предоставляет полосу пропускания в 4 раза больше, нежели в нынешних 3G системах;

д) улучшенная спектральная эффективность. Под спектральной эффективностью понимается насколько узко используется полоса пропускания уровнем доступа беспроводной сети. [13]

Сравнение LTE с 3G (HSPA - высокоскоростная пакетная передача данных) представлено (на рисунке 1.5):

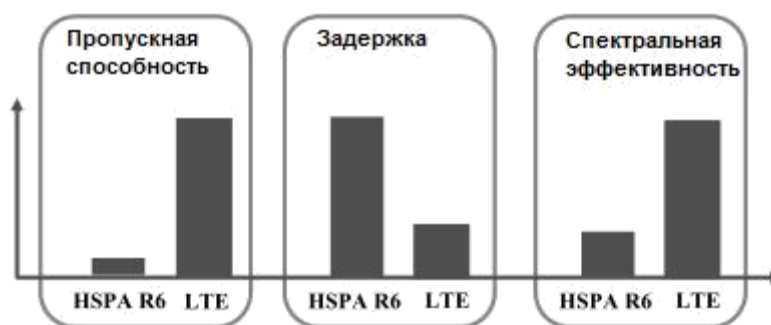


Рисунок 1.5 – Особенности сети LTE

Сеть LTE состоит из двух важнейших компонентов: сети радиодоступа E-UTRAN (Evolved UMTS Terrestrial Radio Access) и базовой сети EPC (Evolved Packet Core).

Конфигурации сервисного шлюза и шлюза, выполняющего функции устройства сети пакетных данных (PDN), настраиваются на выполнение обеих задач или одной из них. Опорной точкой, общей для всех остальных технологий доступа служит PDN-шлюз. Это условие обеспечивает стабильная точка присутствия для всех пользователей на основе IP, независимая от мобильности. Архитектура сети LTE представлена (на рисунке 1.6).

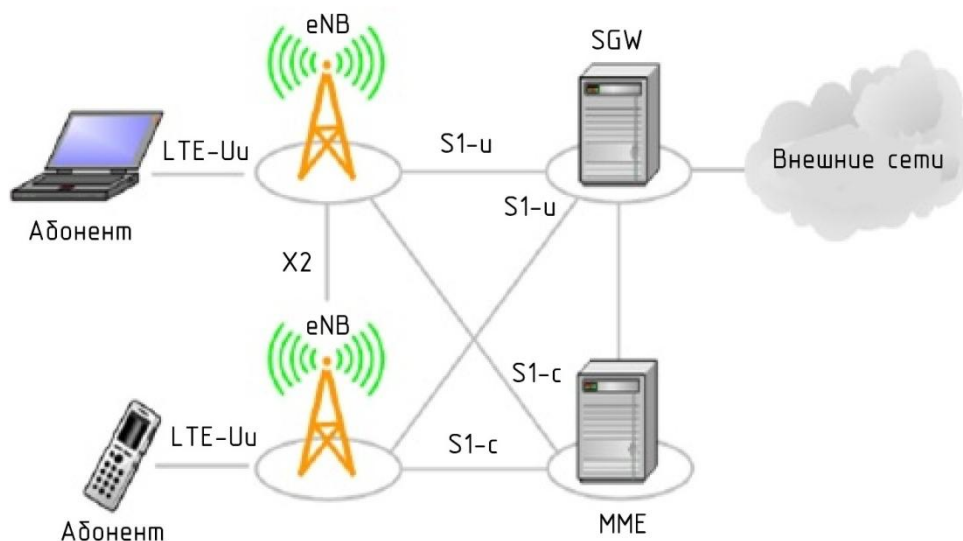


Рисунок 1.6 - Архитектура сети LTE

где eNB – базовые станции (БС);

SGW (Serving GW) – общий шлюз доступа;

LTE-Uu - физический интерфейс пользователя;

X2 - физический интерфейс между БС для обеспечения хендовера;

S1u - интерфейс передачи пользовательских данных;

S1-c – служебный интерфейс MME;

MME - узел поддержки мобильности.

Одной из важнейших задач управления в сети LTE является максимально эффективное использование радиоресурсов. Данная задача решается с помощью совокупности функций управления радиоресурсами RRM (управление радиоресурсами сети E-UTRAN, управление службой передачи данных в радиоканале, управление мобильностью, управление доступом).

Ядро сети 4G LTE по сравнению с сетями предыдущих поколений претерпело существенные изменения. Организация ядра упростилась: из него исчезли некоторые элементы, негативно влиявшие на производительность совместной работы всех сетевых систем. Как следствие, у сети LTE более высокая пропускная способность, и ей присущи меньшие задержки, то есть, она быстрее реагирует на запросы пользовательских устройств. Структура ядра сети LTE обеспечивает доступность сетей предыдущих поколений связи для пользователя. Например, пока сети LTE не вытеснили GSM полностью, загрузку интернет - страницы в браузере смартфона может обеспечивать сеть LTE, а звонок другому абоненту — сеть GSM. [20, 24]

Все технические новшества сетей LTE, большинство из которых приходится как раз на архитектуру ядра, позволяют операторам предоставлять наиболее качественные на сегодня услуги мобильной передачи данных на скоростях в сотни Мбит в секунд.

Для выполнения задачи организации мобильной сети связи на основе БПЛА была выбрана технология 4G (LTE). Беспилотные летательные аппараты долгое время считались футуристическим устройством из научной фантастики, но сегодня ими уже сложно кого-то удивить. Тон в индустрии по-прежнему задают военные — именно на них приходится две трети всех произведенных беспилотников. Они используют дроны для разведки, перехвата связи и поражения целей.

Применение беспилотников в бизнесе, для выполнения каких либо нужд, только набирает обороты. Их уже используют для аэрофотосъемки, патрулирования, геодезических изысканий, мониторинга различных объектов, организации мобильной сети связи. Постепенно они входят и в другие отрасли.

В следующем разделе будет произведён анализ применения БПЛА в сфере связи, а именно в заданиях организации мобильной сети.

					<i>11070006.11.03.02.421.ПЗВКР</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		14

2 ПРИМЕНЕНИЕ БПЛА В ЗАДАНИЯХ ОРГАНИЗАЦИИ МОБИЛЬНОЙ LTE-СЕТИ

Беспилотные летательные аппараты с каждым годом занимают все большее место, как в военной, так и гражданской сфере. Это обусловлено рядом специфических достоинств, реализация которых позволяет получить существенное преимущество над пилотируемой авиацией для широкого спектра задач. Прежде всего это отсутствие экипажа, простота конструкции и систем, относительно небольшая стоимость БПЛА, малые затраты на их создание, производство и эксплуатацию, большие продолжительность и дальность полета, нетребовательность к аэродромному обеспечению.

Сегодня покрытие территории России сотовыми сетями составляет не более 10 %. По данным Минкомсвязи, покрыты почти все населенные пункты, но 1343 городских поселения с численностью жителей от 10 тысяч до 500 тысяч всё же остаются без доступа к Интернету и мобильной связи. Ещё 40 %, или 7000 тысяч населенных пунктов составляют города и села, где есть голосовая сотовая связь, но отсутствует как проводной, так и беспроводной доступ в Интернет. Поэтому сейчас для получения услуг связи за пределами зон покрытия сотовых сетей, особенно в труднодоступных районах, как правило, используется спутниковая связь. Тарифы на спутниковую связь и передачу данных намного выше тарифов сотовых операторов, так как проектирование спутников, их запуск и обслуживание требуют огромных инвестиций.

Сегодня для решения потребностей во временном расширении сети операторы связи используют передвижные базовые станции (ПБС) на колесах или мобильные базовые станции (МБС). Особенность ПБС заключается в их большой стоимости (аренда может стоить более 200 тысяч рублей/сутки), размере и ограниченности в применении обычно в местах с наличием автомобильных дорог. Поэтому каждый из операторов связи, имея десятки тысяч стационарных БС, владеет всего несколькими ПБС. Каждый оператор

					<i>11070006.11.03.02.421.ПЗВКР</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		15

держит несколько десятков ПБС в запасе на случай аварии в сети. Дроны могут стать частью телекоммуникационной инфраструктуры операторов связи, выполняя функцию ретрансляции телекоммуникационных сигналов.

Прикладные задачи, которые можно выполнить с помощью БПЛА:

- сельское хозяйство: распыление удобрений и ядов для насекомых, наблюдение за состоянием сельскохозяйственных угодий;
- организация мобильной сети связи, предоставление точек Wi-Fi;
- рыбное хозяйство, мониторинг за изменениями в охранной зоне;
- мониторинг линий электропередач (ЛЭП), трубопроводов;
- мониторинг открытых горных работ;
- обнаружение объектов и людей;
- в сфере логистики, доставка товаров.

Сегодня БПЛА используются в геодезии, земельно-кадастровой сфере, аэрофотосъемке, картографировании местности, военной авиации и во многих других отраслях. Беспилотные средства оснащаются ультразвуковыми сенсорами, радарными датчиками, лазерными локаторами и видеокамерами и другими устройствами. В настоящее время такие технологии оснащения беспилотных средств пока не широко применяются в России.

К преимуществам мобильной базовой станции от передвижной базовой станции можно отнести то, что у передвижной станции большой размер, и применяется она по большей части только там, где есть автодороги, также и дороговизна всей конструкции, отсюда следует вывод - не универсальность применения.

Для организации мобильной сети связи выбирается как правило БПЛА самолётного типа, так как он сможет поднять достаточно полезного груза и передвигаться по заданному маршруту. На борту устанавливается МБС, передающая и принимающая сигнал на наземные приёмники и передатчики - охватывающие зону покрытия. [9]

					<i>11070006.11.03.02.421.ПЗВКР</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		16

Однако, явной проблемой может являться то, что передвигаясь по заданному маршруту, у такого БПЛА самолётного типа могут возникнуть неполадки в виде отклонения от заданного пути. А для решения данной задачи необходим специалист, постоянно наблюдающий за состоянием летательного аппарата, и в случае отклонения от маршрута, с помощью специальных программ вернуть его обратно, либо отправить на посадку в безопасное место для исправления неполадок с земли.

И при необходимости такой БПЛА не сможет занять статистическое положение, как это может сделать квадрокоптер (дрон) с установленным на нем ретранслятором сигнала сотовой связи. Поднявшись на высоту в 100 метров, дрон формирует покрытие сети сотовой связи площадью до 10 км. Бортовые аккумуляторы позволяют ему находиться в воздухе, обеспечивая сотовое покрытие LTE вплоть до 2 часов.

Существует ряд задач, которые легко можно решить и упростить используя дрон, и в следствии открываются перспективы. Можно решать такие задачи, как контроль охотничьих угодьев с помощью датчиков, отслеживать миграцию птиц, рыб и других животных.

Организовывать мобильную сеть связи на основе БПЛА для обеспечения выхода в сеть интернет в местах удалённых от города, где доступ к сети ограничен или сигнал сети низкого качества.

Иногда требуется обеспечить связью какой-то участок местности, где собираются проводить мероприятие на открытом воздухе с большим числом участников, например форум, конференция, или проведение военно-учебных действий. Да и в целом, на случай, если возникнет какая-то чрезвычайная ситуация, у оператора должно быть решение, позволяющее в считанные часы, а лучше за считанные минуты наладить связь.

На планете часто случаются природные катаклизмы, стихийные бедствия, которые разрушают не только жилые дома, но и телеком-инфраструктуру. Поэтому крупнейшие операторы заинтересованы в наличии эффективных

					<i>11070006.11.03.02.421.ПЗВКР</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		17

решений по восстановлению связи за небольшое время, пусть даже на временной основе. Важно дать возможность нуждающимся в помощи связаться со спасательными службами в то время, пока идут основные аварийно-восстановительные работы. Данное решение поможет оценить масштабы разрушений и позволить получить информацию, необходимую для планирования спасательных работ. [3]

Использовать дроны планируют уже немало крупных компаний, например, компания Nokia планирует использовать их для инспектирования сотовых вышек, а компания Amazon намеревается доставлять дронами свои посылки. Во многих странах ведутся испытания почтовых дронов.

В России проводится пробная доставка дроном биологических материалов в лабораторию, а компания Мегафон планирует применять дроны для обследования местности при планировании сети, а также для обследования сооружений связи.

Идея моей выпускной квалификационной работы состоит в том, что в случае возникновения чрезвычайной ситуации, когда обычная сотовая связь может перестать работать, оператор оперативно развернёт в зоне чрезвычайных событий мобильную базовую станцию (МБС) 4G-LTE, которая обеспечит работу смартфонов и планшетов сотрудников пожарной охраны, полиции и спасателей в условиях чрезвычайного положения для ведения поисково-спасательных операций. Дрон будет являться некой "последней милей", то есть ретранслятором канала связи, который соединяет последний сетевой узел провайдера и конечное оборудование клиента.

Преимуществами такого проекта будут являться:

- использование дронов для ретрансляции услуг связи в отдаленных районах может быть более дешевым решением, чем строительство традиционной инфраструктуры;
- скорость развертывания услуг связи на базе дронов намного выше, чем строительство традиционной инфраструктуры. Это особенно актуально в

					<i>11070006.11.03.02.421.ПЗВКР</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		18

моменты возникновения чрезвычайных ситуаций и при временном проведении специальных мероприятий на открытом пространстве, которые ограничены во времени, к примеру военные учения;

- развертывание услуг связи на базе группировки дронов позволит оказывать услуги связи на любой территории и любой площади, обеспечив услугами связи неподключенных людей либо компании, реализующие проекты в отдалённых районах;

- дроны могут быть запущены в местах, недоступных или рискованных для подвижных базовых станциях (ПБС) на колесах. Например, там, где нет асфальтовых дорог или куда проезд может быть опасен для жизни людей.

Целью исследования в моей выпускной квалификационной работе является проработка проекта Беспилотного Летательного Аппарата для организации мобильной сети связи, а также выявление надёжности методов организации сети интернет.

Управлять БПЛА можно с помощью сети сотовой связи, однако данный метод является не самым надёжным каналом в настоящее время. Большинство антенн сотовой связи наклонены вниз, к тому же в сетях встречаются "дыры" в покрытии, что может приводить к неожиданной потере управления и связанной потере дрона. Но для использования возможно это самый перспективный канал, если установить на канал управления шифрованием, иначе есть немалая вероятность того, что кто-то может перехватить управление дроном. [4]

К основным задачам реализации проекта относятся: выбор мобильной базовой станции (МБС) и БПЛА, которые удовлетворяют необходимым требованиям (стоимость затрат на оборудование, время полета, максимальная нагрузка), оценить безопасность полёта над гражданскими объектами, рассчитать зону радиопокрытия, оценить эффект Доплера (для перемещения по заданному маршруту), использование метода Окамуры - Хата (расчёта зоны покрытия базовой станции), и чтобы частоты не пересекались, не мешали друг -

					<i>11070006.11.03.02.421.ПЗВКР</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		19

другу нужно оценить влияние беспроводной сети передачи данных на управление летательного аппарата.

Для решения всех задач, немаловажен будет алгоритм распознавания, слежения за подвижными объектами, и быстрые алгоритмы обработки данных.

Но несмотря на очевидные перспективы и выгоды использования БПЛА для решения многих задач, существует проблема застоя в области разработки инженерных решений по автоматизации процессов на сегодняшний день - это отсутствие нормативно-правовых актов, регламентирующих правила использования БПЛА в воздушном пространстве в городских условиях.

Регламент Федерального агентства воздушного транспорта России не позволяет дронам подниматься более чем на 121 м, поэтому обозначенная высота станет вынужденным техническим ограничением. Кроме того, беспилотникам разрешены полёты только в светлое время суток, что не позволит обеспечивать круглосуточное покрытие.

В качестве примера по решению задачи организации мобильной сети, можно привести дрон Flying COW, который обеспечивает связь от AT&T во время урагана Мария, прошедшего в 2017 году над Пуэрто-Рико. Это первый случай, когда LTE-покрытие было успешно развернуто на беспилотном летательном аппарате для подключения жителей островного государства Пуэрто-Рико после катастрофы.

Но приведённый выше пример организации мобильной сети связи не всегда будет универсален, так как не имеет бортовых аккумуляторов, а питание получает по подведённому с земли электрическому кабелю, что делает такую инновацию - своего рода "воздушным шаром", способным находиться только в статическом положении над заданной территорией. В скором будущем использование аккумуляторных батарей будет сокращаться, на смену им придут гибридные энергоустановки, которые существенно могут улучшить функционал для дронов поднимающих большой груз.

					<i>11070006.11.03.02.421.ПЗВКР</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		20

Для решения этих ограничений операторам мобильной связи необходимо получить специальное разрешение на использование LTE-дронов ночью и организовать дежурный персонал, пребывание которого на месте полётов является обязательным условием. Надзор за БПЛА необходим в случае возникновения внештатной ситуации для перехода к ручному управлению.

Для БПЛА, предназначенных для эксплуатации с ограниченных площадок и обладающих умеренной продолжительностью полета, целесообразным выглядит использование комбинированной аэродинамической схемы квадрокоптер. Важным преимуществом для такого БПЛА станет сохранение высокой эффективности на режимах висения и движения с около нулевыми скоростями (организация мобильной сети связи, наблюдение за зонами аварийных ситуаций и так далее). Помимо этого, законы управления будут сохраняться неизменными в процессе увеличения скорости вплоть до максимальной. [10]

Был выбран вида БПЛА для осуществления задачи организации мобильной сети - октокоптеры. Так как является наиболее стабильным из этого класса летательным аппаратом, однако может быть дорогим и тяжелым аппаратом. Как правило, цель их появления - высококачественная съемка на профессиональные фото и видеокамеры с использованием мощных двигателей, аккумуляторов и тяжелых подвесов. То есть это уже полноценная профессиональная рабочая техника, для выполнения множества технических задач. Данный БПЛА подходит для организации мобильной сети связи, так как в случае отказа одного из двигателей, дрон сможет благополучно приземлиться.

В следующей разделе необходимо привести требования для организации мобильной сети связи LTE с помощью беспилотного летательного аппарата, и выполнить их расчёт.

3 РАСЧЁТ ХАРАКТЕРИСТИК ДЛЯ ОРГАНИЗАЦИИ МОБИЛЬНОЙ 4G-СЕТИ С ПОМОЩЬЮ БПЛА

3.1 Расчёт зон покрытия 4G-сети

Организация мобильной сети LTE будет производиться на территории где сигнал сети низкого качества или вовсе отсутствует, а это означает, то что плотность абонентов будет низка и базовые станции должны устанавливаться как можно дальше друг от друга, для того чтобы каждый eNB мог покрыть как можно большую территорию. В связи с этим необходимо выбрать подходящий радиочастотный спектр. В этом случае необходимо придерживаться положения, что чем ниже частота, тем дальше распространяется радиосигнал. Радиочастотный спектр 791 – 862 МГц полностью удовлетворит данному решению. Вид дуплекса выберем частотный – FDD, так как при использовании FDD (Frequency Division Duplex) входящий и исходящий трафик разделены частотно, то есть загрузка данных идет на одной частоте, а выгрузка на другой. При использовании TDD (Time Division Duplex) и загрузка, и выгрузка данных осуществляются на одной и той же частоте, только попеременно. Работа в сети FDD выгоднее, так как восходящий и нисходящий трафик идут отдельно и не мешают друг другу. [17, 18]

3.2 Расчёт пропускной способности 4G-сети

Пропускная способность или ёмкость сети основывается на средних значениях спектральной эффективности соты в конкретных обстоятельствах.

Спектральная эффективность определяет скорость передачи данных в установленной полосе частот. Спектральная эффективность систем мобильной связи представляет собою коэффициент, рассчитываемый как отношение скорости передачи данных на 1 Гц употребляемой полосы частот (бит/с/Гц).

					<i>11070006.11.03.02.421.ПЗВКР</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		22

Ширина полосы частот для частотного вида дуплекса FDD для разнообразных конфигураций MIMO равняется 20 МГц. [19]

Средняя спектральная эффективность для сети LTE, представлена (в таблице 3.1):

Таблица 3.1 – Средняя спектральная эффективность для сети LTE

Линия	Схема MIMO	Средняя спектральная эффективность (бит/с/Гц)
UL	1×2	1,254
	1×4	1,829
DL	2×2	2,93
	4×2	3,43
	4×4	4,48

Среднюю пропускную способность одного сектора МБС FDD можно получить методом умножения ширины канала на спектральную эффективность канала:

$$R = S \times W, \quad (3.1)$$

где S – средняя спектральная эффективность (бит/с/Гц);

W – ширина канала (МГц); $W = 10$ МГц.

Для линии DL: $R_{DL} = 4.48 \times 10 = 44.8$ Мбит/с.

Для линии UL: $R_{UL} = 1.83 \times 10 = 18.3$ Мбит/с.

Для того чтобы вычислить пропускную способность мобильной базовой станции R_{eNB} , умножим количество секторов базовой станции на пропускную способность одного сектора, у одной МБС eNB число секторов равняется трем, формула будет выглядеть следующим образом:

$$R_{eNB} = R_{DL/UL} \times 3. \quad (3.2)$$

Для линии DL: $R_{eNB\ DL} = 68.6 \times 3 = 134.4$ Мбит/с.

Для линии UL: $R_{eNB\ UL} = 36.6 \times 3 = 54.9$ Мбит/с.

Чтобы рассчитать общее число сот в сети, нужно определить число каналов, выделяемых для развертывания сети 4G. Формула для расчета общего числа каналов N_k :

$$N_k = \left[\frac{\Delta f_{\Sigma}}{\Delta f_k} \right], \quad (3.3)$$

где Δf_{Σ} - выделенная полоса частот для работы сети и равная 20 МГц;

Δf_k – ширина частотного диапазона для 1 слота радиоканала.

В сетях LTE под радиоканалом подразумевается такой термин, как ресурсный блок (РБ), 1 РБ = 15 кГц. В сети может находиться от 6 до 110 ресурсных блоков, в данном случае их будет использоваться 20. Следовательно, $\Delta f_k = 300$ кГц .

$$N_k = \frac{20000}{300} \approx 66 \text{ каналов}$$

Далее высчитаем количество каналов $N_{k,сек}$, необходимое для обслуживания абонентов в одном секторе одной соты:

$$N_{k,сек} = \left[\frac{N_k}{(N_{кл} \cdot M_{сек})} \right], \quad (3.4)$$

где N_k – общее число каналов;

$N_{кл}$ – размерность кластера, выбираемое с учетом количества секторов МБС eNB, примем равным 3;

$M_{сек}$ – количество секторов МБС eNB, принятое 3.

$$N_{\text{к.сек}} = \left[\frac{66}{(3 \times 3)} \right] \approx 8 \text{ каналов}$$

Далее вычислим количество каналов трафика в одном секторе одной соты $N_{\text{кт.сек}}$. Формула для расчета числа каналов трафика:

$$N_{\text{кт.сек}} = N_{\text{кт1}} \cdot N_{\text{к.сек}}, \quad (3.5)$$

где $N_{\text{кт1}}$ – количество каналов трафика в одном радиоканале, описанное стандартом радиодоступа (для OFDMA $N_{\text{кт1}} = 1 \dots 3$); для сети LTE выберем $N_{\text{кт1}} = 1$.

$$N_{\text{кт.сек}} = 1 \times 10 = 8 \text{ каналов}$$

В соответствии с моделью Эрланга, отображенной в виде графика (на рисунке 3.1), установим номинальную нагрузку в секторе одной соты $A_{\text{сек}}$ при возможном значении вероятности блокировки равной 1% и вычисленным выше значении $N_{\text{кт.сек}}$ установим, то что $A_{\text{сек}} = 10$ Эрл.

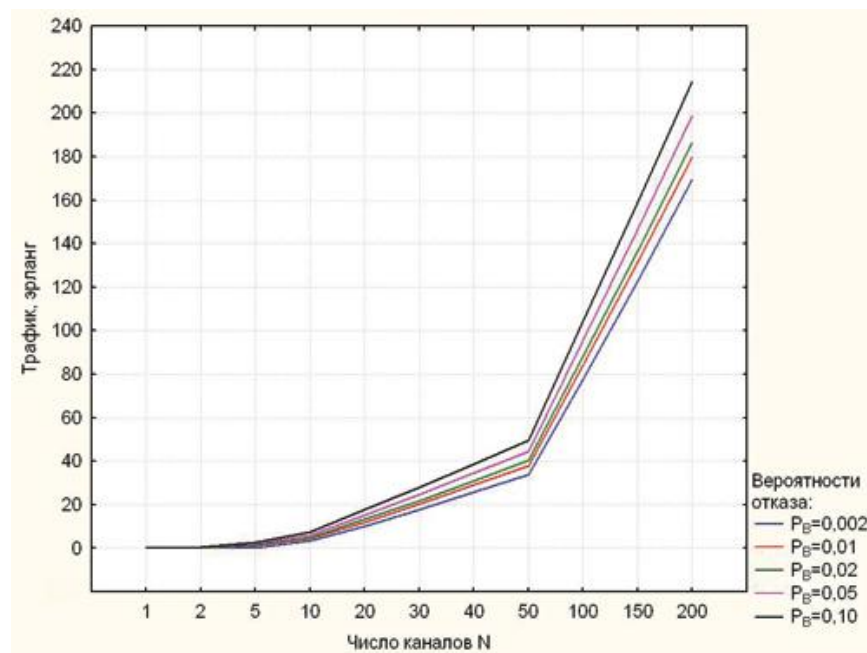


Рисунок 3.1 - Зависимость допустимой нагрузки в секторе от числа каналов трафика и вероятности блокировки.

3.3 Расчет количества подключаемых абонентов

Количество абонентов, которое будет обслуживаться одной мобильной базовой станцией, рассчитывается по следующей формуле:

$$N_{\text{аб.еNB}} = M_{\text{сек}} \times \left[\frac{A_{\text{сек}}}{A_1} \right], \quad (3.6)$$

где A_1 - средняя по всем видам трафика абонентская нагрузка от одного абонента, значение A_1 может составлять (0,04 ... 0,2) Эрл. Так как мобильная сеть планируется использоваться для высокоскоростного обмена информацией, то значение A_1 примем равным 0.2 Эрл.

Таким образом:

$M_{\text{сек}}$ - количество секторов на одной мобильной базовой станции;

$A_{\text{сек}}$ - номинальная нагрузка в секторе одной соты.

$$N_{\text{аб.еNB}} = 3 \times \left[\frac{10}{0.2} \right] = 150 \text{ абонентов.}$$

Количество мобильных базовых станций eNB в сети LTE вычислим согласно формуле:

$$N_{\text{еNB}} = \left[\frac{N_{\text{аб}}}{N_{\text{аб.еNB}}} \right] + 1, \quad (3.7)$$

где $N_{\text{аб}}$ - количество потенциальных абонентов. Количество потенциальных абонентов определим как 500 человек (см таблицу 3.3), тогда:

$$N_{\text{еNB}} = \left[\frac{500}{150} \right] + 1 \approx 4 \text{ еNB.}$$

Сводка количества МБС и абонентов представлена (в таблице 3.2).

Таблица 3.2 - Сводка количества МБС в зависимости от количества абонентов

					<i>11070006.11.03.02.421.ПЗВКР</i>	Лист
						26
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Количество абонентов	100	200	300	400	500
Количество МБС eNB	1	2	3	4	4

Средняя планируемая пропускная способность R_N сети рассчитывается путем произведения количества мобильных базовых станций для 500 абонентов на среднюю пропускную способность базовых станций. Выражение примет вид:

$$R_N = (R_{eNB.DL} + R_{eNB.UL}) \times N_{eNB}, \quad (3.8)$$

$$R_N = (134.4 + 54.9) \times 4 = 757.2 \text{ (Мбит/с)}.$$

Теперь дадим оценку ёмкости сети и сравним с рассчитанной. Определим усредненный трафик одного абонента в час наибольшей нагрузки (ЧНН):

$$R_{T.ЧНН} = \frac{T_T}{N_{ЧНН} \times N_d}, \quad (3.9)$$

где T_T - средний трафик одного абонента в месяц, $T_T = 10$ Гбайт/мес;

$N_{ЧНН}$ - число ЧНН в день, $N_{ЧНН} = 5$;

N_d - число дней в месяце, $N_d = 30$.

$$R_{T.ЧНН} = \frac{30}{5 \times 10} = 0.6 \text{ (Мбит/с)}$$

Определим общий трафик проектируемой сети в ЧНН $R_{общ./ЧНН}$ по формуле:

$$R_{общ./ЧНН} = R_{T.ЧНН} \times N_{акт.аб}, \quad (3.10)$$

где $N_{\text{акт.аб}}$ – число активных пользователей в сети; определим число активных абонентов в сети как 90% от общего числа потенциальных абонентов $N_{\text{аб}}$, то есть $N_{\text{акт.аб}} = 450$ абонентов.

$$R_{\text{общ./ЧНН}} = 0.6 \times 450 = 270 \text{ (Мбит/с)}.$$

Таким образом, $R_N > R_{\text{общ./ЧНН}}$, соответственно мобильная сеть не будет подвергаться перегрузкам в ЧНН.

3.4 Расчёт зоны радиопокрытия

Для расчёта дальности связи используется эмпирическая модель распространения радиоволн Okumura – Hata. Данная модель является наиболее известной и используется для предсказания, позволяет оценить размер зон обслуживания соты системы подвижной связи по уровню затухания сигнала, но не проводит оценку зависимости уровня сигнала от рельефа местности, погодных условий, времени суток, уровня помех. В модели Okumura – Hata предлагается следующее выражение для определения среднего затухания радиосигнала:

$$L_r = 69,5 + 26,16 \lg f_c - 13,82 \lg h_t - A(h_r) + (44,9 - 6,55 \lg h_t) \cdot \lg d \quad , (3.11)$$

где f_c – частота от 150 до 2000 МГц;

h_t – высота передающей антенны (подвеса eNB) от 15 до 60 метров;

h_r – высота принимающей антенны мобильного устройства от 1 до 10 метров;

d – радиус соты от 1 до 20 км;

$A(h_r)$ – поправочный коэффициент для высоты антенны подвижного объекта, зависящий от типа местности.

					<i>11070006.11.03.02.421.ПЗВКР</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		28

Произведём выбор параметров для расчётов:

- $f_c = 800$ МГц;
- $h_t = 40$ метров;
- $h_r = 1$ метр.

Поправочный коэффициент $A(h_r)$ для редко заселённой местности по формуле вычисляется по формуле:

$$A(h_r) = (1,1 \cdot \lg f_c - 0,7) \cdot h_r - (1,56 \cdot \lg f_c - 0,8), \quad (3.12)$$

$$A(h_r) = (1,1 \cdot \lg 800 - 0,7) \cdot 1 - (1,56 \cdot \lg 800 - 0,8) = 2,85$$

Радиус зоны покрытия определяется как отношение между выходной мощностью передатчика P (дБм), запасом по замираниям S (дБ) и требуемым уровнем сигнала на входе приемника Q (дБ):

$$P - L - S = Q. \quad (3.13)$$

Параметры в выражении (3.13) задаются в соответствии с техническими характеристиками выбранного оборудования. В рамках данного проекта данные параметры выбираются следующими: запасом по замираниям для технологии LTE можно пренебречь, следовательно $Q = 27$ дБм.

Тогда выражение для определения радиуса зоны покрытия одного радиомодуля может быть определено следующим образом:

$$40 - (69,5 + 26,16 \lg 800 - 13,82 \lg 40 - 3,75 + (44,9 - 6,55 \lg 40) \cdot \lg d) - 0 = -93$$

$$40 - (69,5 + 89,34 - 22,14 - 3,75 + 34,41 \cdot \lg d) = -93$$

$$-95,12 - 34,41 \cdot \lg d = -93$$

$$\lg d = -0,0616$$

$$d \approx 0,8 \text{ км}$$

					<i>11070006.11.03.02.421.ПЗВКР</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		29

Следовательно, если известен радиус зоны покрытия сети, то можно найти и площадь зоны покрытия сети $S_{зп}$ (3.14), где $R = 0.8$ км.:

$$S_{зп} = \pi \cdot R^2, \quad (3.14)$$

$$R = d = 0.8 \text{ км}; \Rightarrow$$

$$S_{зп} = 3.14 \cdot (0.8)^2 = 2.01 \text{ (км}^2\text{)}.$$

Согласно проведённым расчётам из формул (3.11 - 3.14) был определен радиус действия одного защищённого радиомодуля, который составил = 0.8 км., а площадь зоны покрытия составила = 2.01 (км²).

Оценка влияния эффект Доплера - это физическое явление, состоящее в изменении частоты волн в зависимости от движения источника этих волн относительно наблюдателя. Влияние эффекта Доплера на качество сигнала радиомодуля будет незначительным, так как БПЛА будет мало летать. Его задачей будет подлететь и зависнуть над определённым участком для раздачи сети LTE, но если, к примеру, будет организовываться подвижная мобильная сеть 4G в лесопарковой зоне с плохим радио покрытием сети LTE, где группа людей будет осуществлять перемещение по этой зоне, и за ними будет следовать БПЛА, раздавая сигнал LTE, то в таком случае эффект Доплера будет минимальным, либо вовсе будет отсутствовать, так как скорость перемещения БПЛА составит от 1 до 2 км/ч.

После проведения необходимых расчётов по организации мобильной сети связи LTE, следует выбрать оборудование мобильной базовой станции, также необходимо выбрать коммутирующее оборудование для уровня ядра, для того, чтобы реализовать организацию беспроводной мультисервисной сети связи на базе технологии LTE с помощью БПЛА.

					<i>11070006.11.03.02.421.ПЗВКР</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		30

4 ВЫБОР ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ОРГАНИЗАЦИИ 4G-СЕТИ

Беспилотный летательный аппарат - это платформа не только для размещения полезной нагрузки. Существует жесткая взаимосвязь между свойствами БПЛА (летно-техническими характеристиками, показателями функциональной эффективности, выживаемости, надежности) и условиями его эксплуатации. Следовательно, создание высокоэффективного БПЛА является сложной организационно-технической задачей, решение которой требует привлечения как специалистов, так и технологий из разных областей науки и техники. [11]

Основной задачей при проектировании беспилотных летательных аппаратов является автономность: сколько времени БПЛА может находиться в воздухе, выполняя свое техническое задание. Время автономной работы зависит от многих факторов: скорость ветра, температура воздуха, вес БПЛА со всем необходимым оборудованием на борту, энергопотребление двигателей, платы управления, подключаемых модулей, скорости полёта и прочего.

Для организации мобильной сети связи с помощью БПЛА в качестве защищённой мобильной базовой станции будет использоваться блок управления LTE (eNodeB) с интегрированным пакетным ядром (EPC), который будет находиться непосредственно удалённо в командном центре, либо в грузовике/внедорожнике, всё это представлено (на рисунке 4.1).



Рисунок 4.1 - Оборудование: а) защищённый радиомодуль; б) МБС LTE (eNB)

Защищённые LTE-базовые станции повышенной прочности

					<i>11070006.11.03.02.421.ПЗВКР</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		31

предназначены для быстрого развертывания инфраструктуры высокоскоростной беспроводной связи по стандарту 4G (LTE) и безотказной передачи данных в условиях отсутствия или ослабления сигнала сотовой связи. Защищенные МБС предназначены для применения в ситуациях, когда требуется стопроцентная мобильность, безотказность в сложных эксплуатационных условиях. Такие устройства оптимальны для передачи больших объемов данных, стабильная связь между подвижными устройствами, также небольшим временем задержки.

На БПЛА будет установлен защищённый двухканальный выносной радиомодуль, выполняющий функцию "последней мили" или ретранслятора, соединенный с МБС LTE (eNB) по выделенному спутниковому каналу связи для приёма и передачи данных, что представлено в (таблице 4.1).

Таблица 4.1 - Выбор оборудования для организации мобильной сети LTE

Тип комплектующего:	Количество (шт.):	Общий вес:
Защищённый двухканальный выносной радиомодуль / 400 МГц - 4 ГГц / 3G/ 4G LTE Adv. со встроенной антенной	1	4900 грамм
Необходимый комплект кабелей связи	1	500 грамм
ИТОГО		5400 грамм

Далее следует выбрать подходящий тип беспилотного летательного аппарата, и его компоненты. Для оператора связи немаловажным также является выбор серверного оборудования и программного обеспечения серверного оборудования для обеспечения обслуживания сети и её защиты. [16]

Одной из самых важных вещей в БПЛА является двигатель. Есть множество способов конфигурации двигателей сказанных ранее, для организации мобильной сети подходит октокоптер, то есть мультироторная платформа с восьмью двигателями. Существуют: коллекторный, коллекторный с редуктором и бесколлекторный двигатели. Первые два обычно используются для небольших беспилотников, взлетающих на небольшую высоту и на

недалекие расстояния. Для задачи организации мобильной сети связи LTE подходят бесколлекторные двигатели, так как у них высокий КПД, что сказывается на большую продолжительность полёта БПЛА и установку дополнительного оборудования.

Такие двигатели имеют большую подъемную силу, надежны и неприхотливы в обслуживании. Максимальный потребляемый ток может достигать 60 Ампер.

Основные комплектующие беспилотного летательного аппарата для организации мобильной сети связи LTE представлены в (таблице 4.2):

Таблица 4.2 - Основные комплектующие для БПЛА

Тип комплектующего:	Количество (шт.):	Общий вес:
Двигатель бесколлекторный Scorpion SII - 4020	8	3240 грамм
Пропеллеры карбоновые Aeronaught M470	8	488 грамм
Система автоматического управления и полётный контроллер: DJI Naza V1/V2 (ГЛОНАСС, GPS)	1	216 грамм
Тепловизор FLIR Vue	1	83 грамма
Видео - фото камера AMK5000s	1	80 грамм
Регулятор оборотов двигателя	8	80 грамм
Приемник радиуправления Panda 2	1	25 грамм
Датчик дыма MQ2	1	12 грамм
ИТОГО		4434 грамм

Дистанционно-пилотируемое управление движением БПЛА производится по спутниковым каналам связи (через Экспресс AM22), что позволяет использовать летательный аппарат в сложных условиях с непрерывно изменяющейся полётной ситуацией. По спутниковым каналам связи

обновляется координатная информация о положении и параметрах объектов связи - абонентов. [23, 24, 25]

Также ответственно нужно подойти к выбору рамы для октокоптера, так как от этого зависит общий вес и время полета. Для дальних полётов необходимо выбирать большую раму (750 мм), прочную и в то же время легкую. Рамы из стекловолокна не подойдут для осуществления задачи, так как они хоть и очень прочные, но сильно хрупкие. Лучшим вариантом будет рама из карбона.

После того как был выбран вид БПЛА - октокоптер, осуществлены соответствующие расчёты, было подобрано необходимые комплектующие для осуществления поставленной задачи. В следствии чего была построена схема дрона, представленная на (рисунке 4.2):

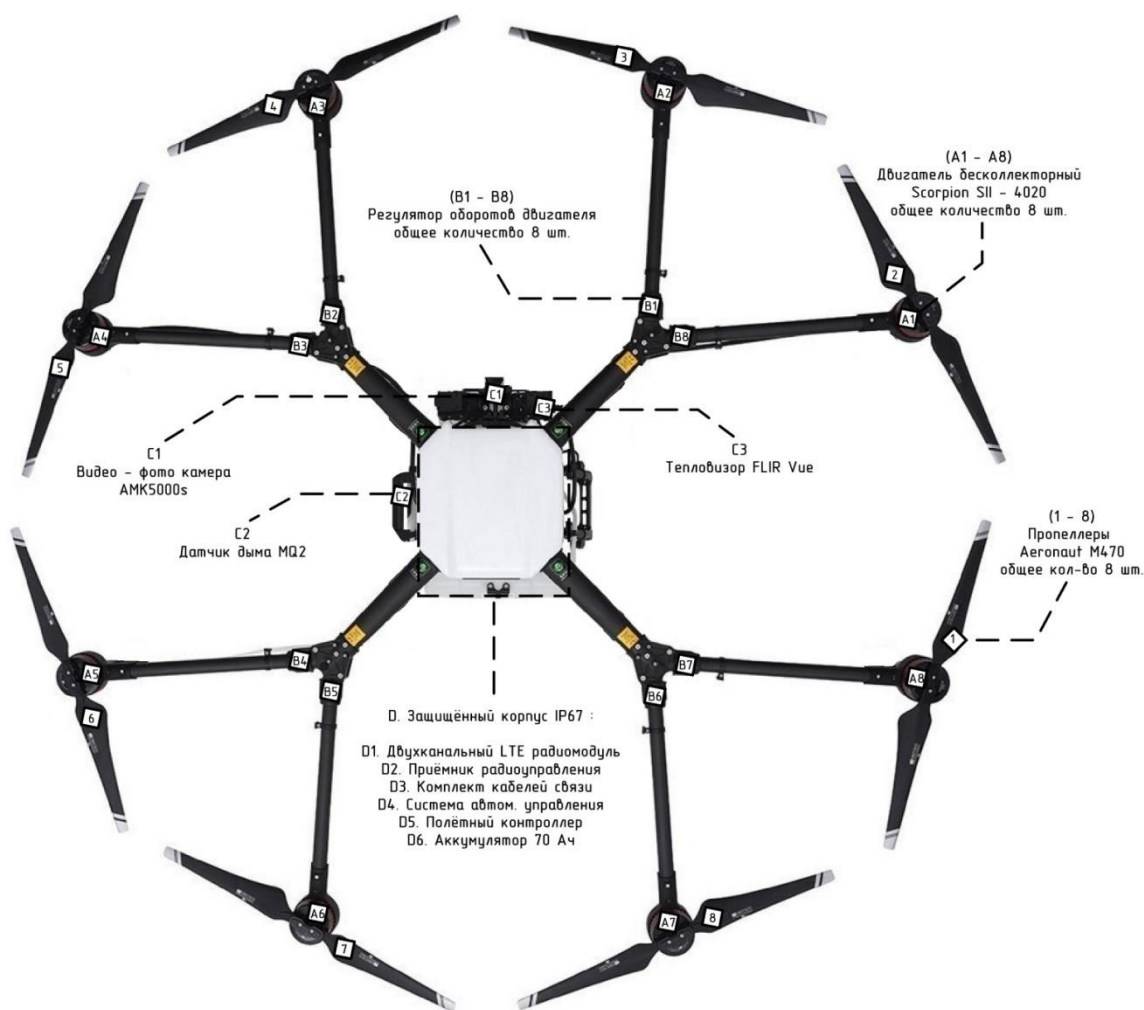


Рисунок 4.2 - Схема октокоптера с расположением комплектующего (вид снизу)

					11070006.11.03.02.421.ПЗВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		34

Схема показывает расположение комплектующего для организации мобильной сети связи используя БПЛА. Сегодня активно ведутся разработки водородных топливных элементов, способные заменить АКБ, что позволит в будущем улучшить октокоптер для большей грузоподъёмности и автономности. Ниже варианты организации мобильной сети LTE с помощью беспилотного летательного аппарата, что показано на (рисунке 4.3, 4.4):

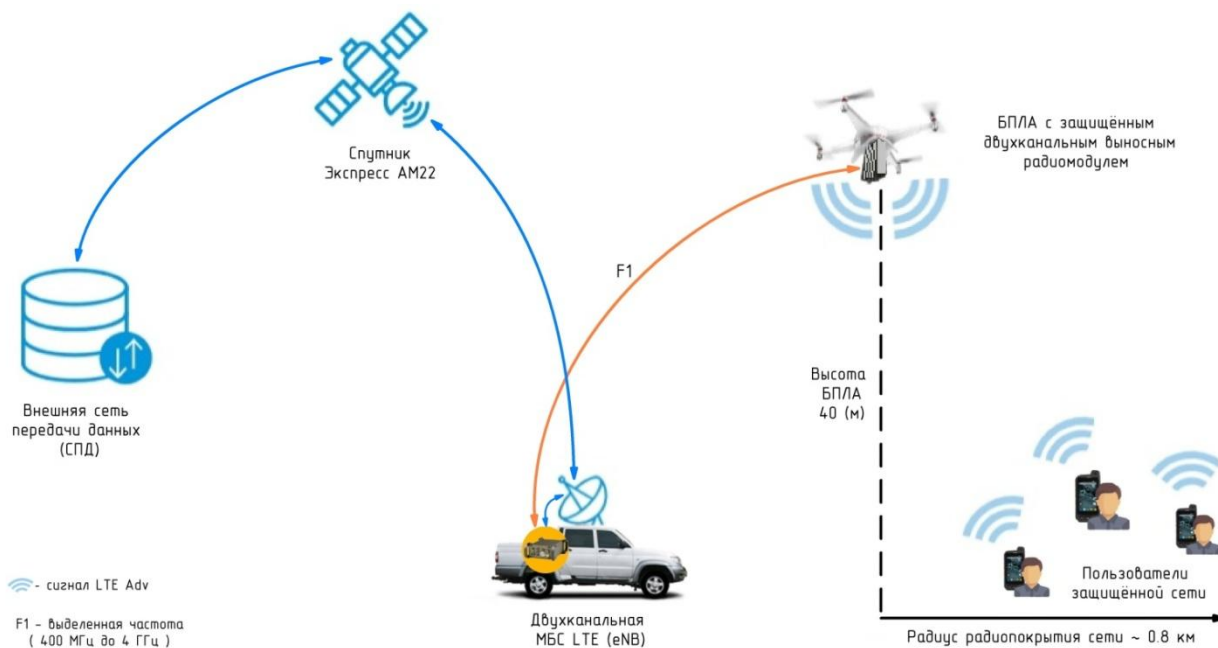


Рисунок 4.3 - Организация LTE-сети с интеграцией во внешнюю СПД

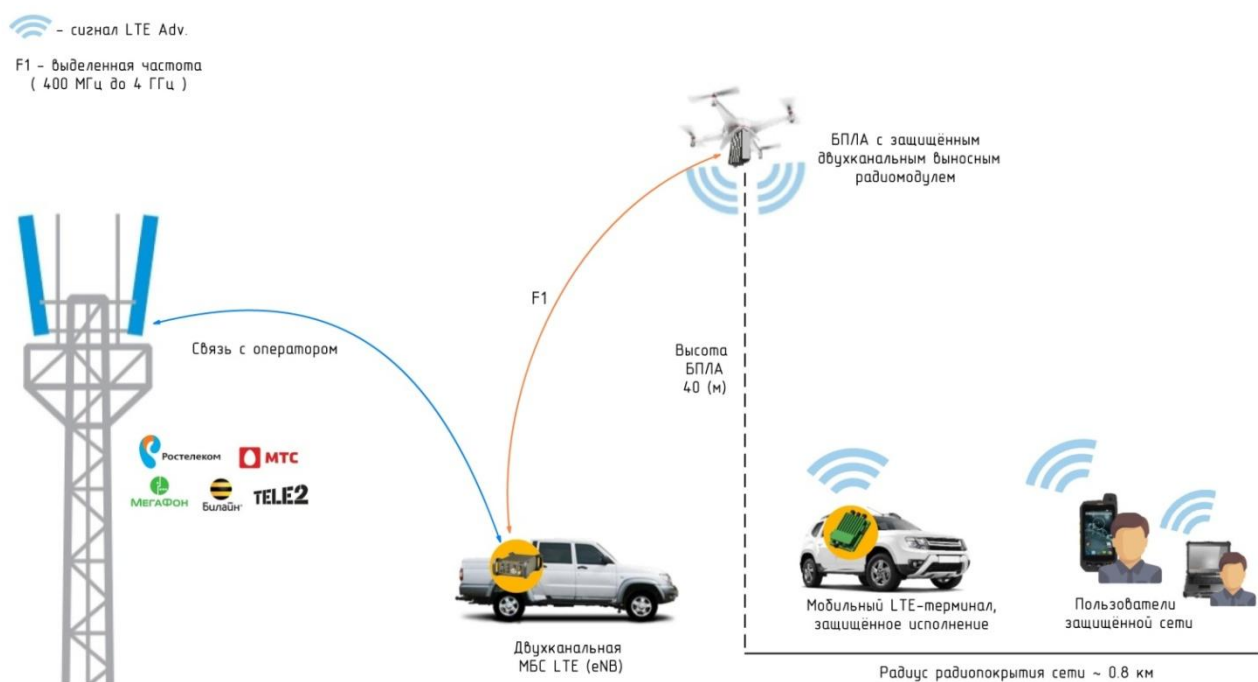


Рисунок 4.4 - Организация связи на базе БПЛА с интеграцией в сеть

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

11070006.11.03.02.421.ПЗВКР

Также возможен следующий вариант организации мобильной сети, путём расширения зоны покрытия, используя октокоптер в качестве последней мили. В таком варианте будет не обязательно использование машины с мобильной базовой станцией LTE (eNB), а достаточно будет использовать беспилотный летательный аппарат и радиомодуль. БПЛА занимает определённое статическое положение над заданной зоной, закрепляясь за ближайшей базовой станцией оператора связи (зона покрытия которой, при частоте 800 МГц, будет равна 5 (км²), и тем самым, расширяет зону покрытия мобильной сети, как показано на (рисунке 4.5):

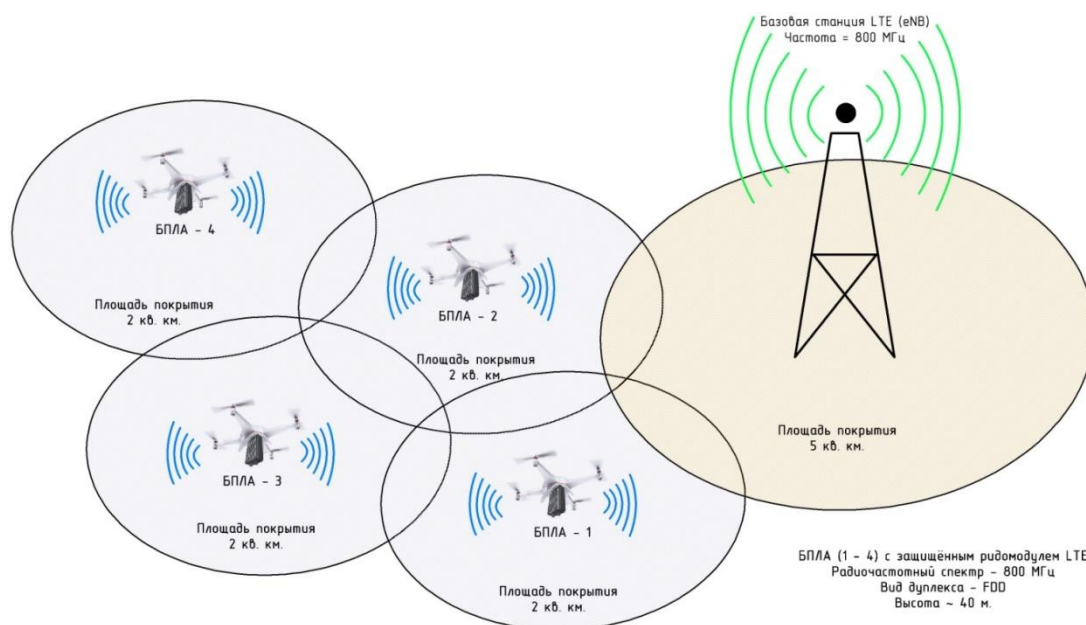


Рисунок 4.5 - Сплошное радиопокрытие заданной территории

Результатом такого покрытия мобильной сети связи с помощью БПЛА станет решение таких задач, как организация ведомственных корпоративных мобильных сетей связи, в месте где производится технологическая связь, для передачи данных абонентов этой сети, а также в зоне оперативных действий ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций (где разрушена наземная телекоммуникационная инфраструктура связи, или на территории, где отсутствует или плохой сигнал сети). Далее следует провести расчёт автономной работы БПЛА для организации мобильной 4G-сети.

					<i>11070006.11.03.02.421.ПЗВКР</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		36

5 РАСЧЁТ ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЯ И АВТОНОМНОЙ РАБОТЫ БПЛА С НЕОБХОДИМЫМ ОБОРУДОВАНИЕМ ДЛЯ ОРГАНИЗАЦИИ 4G-СЕТИ

Модель БПЛА для организации мобильной сети должна быть оснащена возможностью прикрепления фотоэлектрических батарей (солнечных батарей), которые преобразует энергию солнечного света в электрическую, для подзарядки бортовых аккумуляторных батарей. БПЛА должен быть оснащён также аккумуляторами, которые позволяют летательному аппарату держаться в воздухе ночью, когда солнечная батарея не даёт энергии. Солнечные батареи дают два несравненных преимущества для беспилотников: сверхдальние перелеты и сверхдолгая работа в воздухе, что непременно положительно будет сказываться на организацию мобильной сети связи LTE с помощью БПЛА.

Помимо всего прочего, автономность БПЛА должна иметь:

- систему уклонения от опасного сближения с препятствиями, предназначена для того, чтобы минимизировать возможности аварийного сближения или удара дрона о неподвижные или подвижные препятствия, например, о здания, людей, другие дроны. Требуется наличие системы локации окружающей среды и анализа данных с датчиков сближения и/или системы компьютерного зрения;

- систему автоматического возвращения - дрон, оборудованный такой системой, может возвращаться в точку запуска в случае потери управления или опасного разряда аккумуляторов;

- систему автоматической подзарядки - коммерческие транспортные дроны оборудованные такой системой "знают" где расположена ближайшая точка подзарядки, и могут рассчитать, что в момент опасно низкого заряда аккумулятора, они должны сойти с маршрута следования, чтобы успеть достичь точки подзарядки, зарядить аккумулятор и продолжить полет в точку с заданными координатами.

					<i>11070006.11.03.02.421.ПЗВКР</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		37

- систему автоматического следования по курсу;
- систему автоматической посадки.

Чтобы узнать взлётную массу беспилотного летательного аппарата, необходимо её рассчитать. Пусть имеется летательный аппарат массой M (кг) с числом винтов k , с радиусом каждого винта r (м) и шагом h (м). Число оборотов каждого винта (двигателя) n (c^{-1}). [22]

Скорость потока воздуха от аппарата вниз:

$$V_{\text{вн}} = h \cdot n. \quad (5.1)$$

Масса потока воздуха вниз:

$$M_{\text{вн}} = \pi \cdot \rho \cdot r^2 \cdot h \cdot n \cdot k, \quad (5.2)$$

где ρ - плотность воздуха ($кг \cdot м^{-3}$).

Плотность воздуха может быть рассчитана по уравнению (5.3):

$$\rho = \frac{P \cdot \mu}{RT}, \quad (5.3)$$

где P – давление воздуха (Па);

R – универсальная газовая постоянная;

T – абсолютная температура воздуха (К);

μ - усредненная молекулярная масса воздуха ($28.98 \cdot 10^{-3}$ кг/моль).

Подставляя формулу (5.3) в (5.2), получаем уравнение для расчета массы воздуха, направляемого винтами вниз:

$$M_{\text{вн}} = \pi \frac{P \mu r^2 h n k}{RT}. \quad (5.4)$$

					<i>11070006.11.03.02.421.ПЗВКР</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		38

Применив уравнение сохранения силы импульса $mv = Ft$ или $F = \frac{mv}{t}$ и учитывая, что $\frac{m}{t} = M_{\text{вн}}$ и $v = V_{\text{вн}}$, получим:

$$F = Mg = \pi \frac{P\mu r^2 h^2 n^2 k}{RT}, \quad (5.5)$$

где g – ускорение свободного падения - $9.81 \text{ (м}\cdot\text{с}^{-2}\text{)}$.

По формуле (5.6) можно вычислить полную массу удерживаемого аппарата:

$$M = \pi \frac{P\mu r^2 h^2 n^2 k}{RTg} \eta, \quad (5.6)$$

Технические данные для рамы октокоптера, используемого для задачи организации мобильной сети LTE, берутся следующие: пропеллер с радиусом 200.5мм, то есть $r = 0.02005\text{м}$ и шагом 152 мм, $h = 0.089$ м. Число оборотов пропеллера 9000 об./мин., или $n=90 \text{ с}^{-1}$. Значение коэффициента η составляет 0.9. Число пропеллеров $k=8$. P примем равным 101325 Па (нормальное атмосферное давление); $\mu = 28.98 \cdot 10^{-3}$ (усредненная молекулярная масса воздуха); $R = 8.31$ (универсальная газовая постоянная); $T=300 \text{ К}$ (средняя температура); $g = 9.81$. Подставив все данные в формулу 5.7, получим:

$$M = \pi \frac{101325 \cdot 28,98 \cdot 10^{-3} \cdot (0,02005)^2 \cdot (0,089)^2 \cdot (90)^2 \cdot 8}{8,31 \cdot 300 \cdot 9,81} \cdot 0,9 = 2,893 \text{ кг.}$$

Полную взлётную массу составляет сумма всего оборудования, находящегося на беспилотнике (таблица 4.1, 4.2) и рассчитанный вес рамы по формуле (5.6):

$$M=2.893 \text{ кг} + 9.634 \text{ кг} = 12.527 \text{ (кг)} - \text{без АКБ.}$$

					<i>11070006.11.03.02.421.ПЗВКР</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		39

Следующим шагом, является расчет необходимой ёмкости батареи по времени полета. Работа по перемещению летательного аппарата массой M в потоке воздуха, движущегося со скоростью, определяемой уравнением:

$$A = FS = MgV_{\text{вн}}t = Mghnt, \quad (5.7)$$

а суммарная мощность всех двигателей:

$$N = Mghn. \quad (5.8)$$

Учитывая, что емкость батареи C (Ач), ток I (А) и время ее работы t (с) могут быть связаны соотношением:

$$I = \frac{3600 C}{t}, \quad (5.9)$$

где 3600 - коэффициент, равный количеству секунд в часе, а также, пользуясь формулой для расчета мощности электрического тока $N = IU$, где U – напряжение на батарее (В), получается:

$$C = \frac{Mghnt}{3600U\eta_{\text{ен}}}, \quad (5.10)$$

Далее произведём расчет мощности всех двигателей по формуле (5.10) $N = 950$ Вт. Отсюда можно узнать, что расходуемая мощность на набор высоты 150 Вт, на снижение 50 Вт, при висении над заданной точкой 80 Вт, а при горизонтальном полёте 110 Вт. После рассчитаем необходимую ёмкость батареи, если время зависания в воздухе составляет один час (3600 с), коэффициент полезного действия двигательной установки $\eta_{\text{ен}} = 0.8$, а напряжение на батарее $U=17.4$ В:

					<i>11070006.11.03.02.421.ПЗВКР</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		40

$$C = \frac{12.527 \cdot 9.81 \cdot 0.089 \cdot 90 \cdot 3600}{3600 \cdot 17.4 \cdot 0.8} = 65 \text{ Ач} .$$

Чтобы обеспечить электропитанием всю бортовую комплектацию БПЛА, включая радиомодуль LTE, потребление у которого 5 Ач, была рассчитана ёмкость необходимой батареи для октокоптера, следовательно, вес аккумулятора ёмкостью 70 Ач составляет 10 килограмм. Далее следует узнать реальное время полёта, которое сможет совершить БПЛА, применив формулу:

$$t = \frac{CU_{en}}{Mghn} 3600, \quad (5.11)$$

$$t = \frac{70 \cdot 17.4 \cdot 0.7}{(12.527 + 10) \cdot 9.81 \cdot 0.089 \cdot 90} \cdot 3600 = 3576.4 \text{ с} \approx 60 \text{ минут}$$

Из расчётов следует, что один беспилотный летательный аппарат, сможет пролетать расстояние около 20 км без подзарядки с необходимым активным оборудованием на борту, либо занять статическое положение на высоте в 40 метров, и организовать мобильную сеть связи 4G с помощью установленного радиомодуля в радиусе 0.8 км на протяжении 1 часа, в паре с мобильной базовой станцией LTE (eNB), расположенной либо в командном центре, либо в специальном внедорожнике/грузовике. Обмен данными с БПЛА будет происходить с помощью защищённого выделенного спутникового канала. Итоговая масса беспилотного летательного аппарата с полезной нагрузкой - 22.5 килограмма. Для стабильной работы у всего комплекса должна быть высокая степень защиты IP67, а также использование отечественного производства всех компонентов. Также должен быть использован стандарт MIL-STD 810 - военный стандарт, регламентирующий уровень защиты всего оборудования при воздействиях экстремальных температур, пыли, грязи, воды, ударов и вибраций.

					<i>11070006.11.03.02.421.ПЗВКР</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		41

6 ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПРОЕКТА

Расчёт экономической части, весьма важным этапом в реализации проекта по организации мобильной сети связи с помощью беспилотного летательного аппарата. Так, от правильности подсчёта оборудования, расчёта капитальных вложений и расчёта предполагаемых доходов, будет зависеть сроки рентабельности данного проекта.

Целью технико-экономического обоснования проекта является анализ его эффективности инвестиционных вложений. А также оценить проект по технико-экономическим показателям по следующим задачам: расчет капитальных вложений и расчет предполагаемых доходов. [8]

Капитальные вложения: представляют собой смету затрат на реализацию проекта и включают в себя всё необходимое оборудование (комплект для МБС, необходимый комплект кабелей связи, выносной радиомодуль), для БПЛА (двигатель, пропеллеры, материал для крепёжной рамы, аккумуляторы, САУ, полётный контроллер, тепловизор, видеокамеры, приёмник радиуправления, датчик дыма), для линии связи (кабель, либо стоимость аренды виртуального канала, стоимость аренды частотного ресурса), стоимость лицензионного программного обеспечения.

Расчет капитальных вложений в оборудование и материалы представлен в (таблице 6.1). Данная таблица включает в себя всё оборудование, необходимое для реализации проекта по организации мобильной сети с помощью БПЛА.

Тарифные доходы бывают двух типов: разовые (подключение абонентов) и текущие (абонентская плата). Предполагается, что каждый оператор сотовой связи будет предоставлять свои условия тарифных планов, а также брать на себя ответственное за организацию транспортного средства для перевозки беспилотного летательного аппарата.

					<i>11070006.11.03.02.421.ПЗВКР</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		42

Смета затрат составлена согласно следующим источникам [5, 6, 21].

Таблица 6.1-Капитальные вложения в оборудования и материалы

№	Наименование	Количество	Стоимость единицы (руб.)	Всего затрат (руб.)
1	Мобильная базовая станция LTE (eNB) 2TEST.	1	920 000	920 000
2	Защищённый двухканальный выносной радиомодуль 2TEST	1	560 000	560 000
3	Необходимый набор кабелей связи	1	36 000	36 000
4	Антенно-фидерное устройство	1	504 000	504 000
5	Защищённый сервер	1	540 000	530 000
6	Блок питания	1	70 000	70 000
7	Программный продукт для управления ридомодулем	1	30 000	30 000
8	Программный продукт для управления ядром EPC	1	30 000	30 000
9	Двигатель бесколлекторный Scorpion SII - 4020 (с охлаждающим вентилятором)	8	33 000	263 000
10	Пропеллеры карбоновые Aeronaut M470	8	6 000	48 000
11	Система автоматического управления (САУ) и полётный контроллер (ПК)	1	20 000	20 000
12	Тепловизор FLIR Vue	1	10 000	10 000
13	Видео - фото камера	1	8 500	8 500
14	Приемник радиуправления	1	12 000	12 000
15	Датчик дыма	1	5 000	5 000
16	Аккумулятор	1	25 000	25 000
17	Регулятор оборотов двигателя	8	125	1000
18	Материал для изготовления рамы октокоптера толщина 750 мм - 8 метров	1	1000	8 000
ИТОГО				3 082 500

Далее представлена калькуляция эксплуатационных расходов:

					<i>11070006.11.03.02.421.ПЗВКР</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		43

Эксплуатационными расходами называются расходы предприятия на производство или предоставление услуг. В состав эксплуатационных расходов входят все расходы на содержание и обслуживание мобильной сети связи. Эти расходы имеют текущий характер. Эксплуатационные расходы по своей экономической сущности выражают себестоимость услуг связи в денежном выражении.

Для подсчета годового фонда заработной платы как правило определяют численность штата ответственного персонала. Данные результаты приведены в (таблицах 6.2, 6.3).

Таблица 6.2-Состав персонала по обслуживанию МБС LTE

Наименование должности	Оклад	Количество, чел.	Сумма з/п, руб.
Ведущий инженер	40 000	1	60 000
Инженер-настройщик МБС	20 000	1	40 000
Итого:		2	100 000

Таблица 6.3-Состав персонала по обслуживанию, сбору и ремонту БПЛА

Наименование должности	Оклад	Количество, чел.	Сумма з/п, руб.
Инженер-настройщик сети связи.	25 000	1	40 000
Итого:		1	40 000

Годовой фонд оплаты труда для персонала рассчитывается как:

$$\text{ФОТ} = \sum_{i=1}^K (T * P_i * I_i) * 12 \text{ руб.}, \quad (6.1)$$

где: I_i – количество работников каждой категории;

P_i – заработная плата работника каждой категории (руб.);

12 – количество месяцев;

T – коэффициент премии (если премии не предусмотрены, то $T=1$).

Следовательно, годовой фонд составит:

Для персонала по обслуживанию МБС LTE:

$$\text{ФОТ} = 100\,000 \cdot 12 \cdot 1.25 = 1\,500\,000 \text{ руб.},$$

Для персонала по обслуживанию БПЛА:

$$\text{ФОТ} = 40\,000 \cdot 12 \cdot 1.25 = 600\,000 \text{ руб.},$$

1,25 – размер премии (25%).

Общий годовой фонд оплаты труда составит:

$$\text{ФОТ}_{\text{год}} = 1\,500\,000 + 600\,000 = 2\,100\,000 \text{ руб.}$$

Страховые взносы. каждое предприятие обязано выплачивать налоги на каждого своего сотрудника, ранее этот налог назывался Единый социальный налог, но с 1 января 2010 года единый социальный налог (ЕСН) был заменён страховыми взносами, а его ставка повышена. На сегодняшний день (2018 год) этот показатель составляет порядка 30% от заработной платы.

Страховые взносы рассчитываются по следующей формуле:

$$\text{СВ} = \text{ФОТ} \cdot 0,3 \text{ руб.}, \quad (6.2)$$

$$\text{СВ} = 2\,100\,000 \cdot 0.3 = 630\,000 \text{ руб.}$$

Амортизационные отчисления: под амортизацией понимается процесс постепенного возмещения стоимости основных фондов, в целях накопления средств для реконструкции и приобретения основных средств. Самым распространенным способом оценки амортизации является учет амортизации, составленный исходя из общего срока службы основных фондов, в этом случае:

$$\text{АО} = T/F \text{ руб.}, \quad (6.3)$$

где T – 10% от стоимости оборудования;

F – срок службы этого оборудования.

					<i>11070006.11.03.02.421.ПЗВКР</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		45

$$AO = \frac{308\,250}{10} = 30\,825 \text{ руб.}$$

Материальные затраты: расходы предусматривают общие производственные ($Z_{пр.}$) и эксплуатационно-хозяйственные затраты ($Z_{эк.}$):

$$Z_{пр.} = ФОТ * 0,15, \quad (6.4)$$

$$Z_{эк.} = ФОТ * 0,25, \quad (6.5)$$

$$Z_{пр.} = 2\,100\,000 \cdot 0,15 = 315\,000 \text{ руб.}$$

$$Z_{эк.} = 2\,100\,000 \cdot 0,25 = 525\,000 \text{ руб.}$$

где ФОТ – годовой фонд оплаты труда.

Годовые эксплуатационные расходы представлены в (таблице 6.4):

Таблица 6.4 – Годовые эксплуатационные расходы

Наименование затрат	Сумма затрат, руб.
1. ФОТ	2 100 000
2. Страховые взносы	630 000
3. Амортизационные отчисления	30 825
4. Материальные затраты	1 200 000
5. Прочие расходы	840 000
6. Аренда выделенного спутникового канала	2 600 000
7. Аренда полосы частот 800 МГц	2 300 000
ИТОГО	9 770 500

В следующем разделе будет обращено внимание на меры по обеспечению охраны труда, технику безопасности и охрану окружающей среды для осуществления задачи организации мобильной сети связи на основе беспилотного летательного аппарата.

7 МЕРЫ ПО ОБЕСПЕЧЕНИЮ ОХРАНЫ ТРУДА, ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ И ОХРАНА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Требования охраны труда во время организации сети с помощью БПЛА:

1. При работе с БПЛА соблюдать требования Инструкции по эксплуатации. 2. Зарядку аккумуляторных батарей проводить только в специально отведенных местах, соблюдая требования техники безопасности при эксплуатации аккумуляторных батарей данного класса и убедившись в отсутствии людей, не связанных с проведением данных работ, на расстоянии не менее 5 метров.

3. Запрещается эксплуатировать аккумуляторные батареи при обнаружении механических повреждений защитной пленки, вздутии пластин, появлении характерного запаха химической реакции.

4. Во время полета БПЛА четко выполнять требования Инструкции оператора управления комплекса, указания службы управления воздушным движением.

5. При выборе площадки и во время посадки БПЛА максимально исключить возможность нанесения ущерба людям и материальным ценностям. Требования охраны труда в аварийных ситуациях.

6. При обнаружении неисправности комплекса или его отдельных составляющих немедленно прекратить эксплуатацию и провести комплекс мероприятий согласно эксплуатационным документам. О происшествии и принятых мерах и доложить непосредственному начальнику.

7. При возникновении ЧС во время полета БПЛА (отказ системы управления, опасность столкновения с препятствием, резкое ухудшение погодных условий, пожар на борту), немедленно доложить в службу управления воздушным движением, прекратить полет и обеспечить безопасную посадку БПЛА.

					<i>11070006.11.03.02.421.ПЗВКР</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		47

8. При возникновении ситуаций неконтролируемых реакций аккумуляторных батарей в процессе зарядки (повышение температуры, вздутие, открытая химическая реакция), немедленно перекрыть процесс и изолировать аккумуляторную батарею, поместив ее в контейнер. Тушение пожара производить углекислотным огнетушителем, землёй или накрывая брезентом.

9. При приземлении БПЛА в труднодоступном месте необходимо доложить непосредственному руководителю полетов для решений о способе его эвакуации.

10. При получении травмы оказать первую доврачебную помощь пострадавшему, вызвать врача. До прихода врача оказывать помощь, исходя из состояния пострадавшего Требования охраны труда по окончании работы.

Требования по обеспечению безопасности работы БПЛА:

1. При подготовке к выполнению полетов производится согласование использования воздушного пространства с ЕС ОрВД.

2. Составляется «Инструкция по организации и выполнению полетов», в которой определяются основные положения в целях: организации выполнения полетов; управления полетами; выполнения полетов; обеспечения полетов; меры безопасности при выполнении полетов. Действия в особых случаях при непреднамеренном попадании в опасные явления погоды при возникновении особых случаев в полёте, а так же при получении сигналов «Ковёр», «Режим».

3. Производить запуск БПЛА без установления связи - запрещается!

4. О всех изменениях в полете БПЛА производится доклад в ЕС ОрВД.

5. После приземления производится доклад в РЦ ЕС ОрВД о времени посадки и сообщается дальнейший план работы.

6. При потере связи с БПЛА производится немедленный доклад в РЦ ЕС ОрВД. В докладе сообщается время и место потери связи, высота полета БПЛА, предполагаемые оставшееся время полета и курс следования, район приземления (падения) БПЛА.

					<i>11070006.11.03.02.421.ПЗВКР</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		48

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В процессе выполнения данной выпускной квалификационной работы были решены все поставленные задачи. После проведения анализа над существующими вариантами организации мобильной сети связи, были составлены требования к проекту по организации LTE-сети с помощью БПЛА. Затем был произведён выбор оборудования, позволяющего организовать LTE-сеть с использованием октокоптера, зарекомендовавшего себя высокими критериями надёжности и автономности. В ходе работы над проектом были рассчитаны основные параметры, на основе которых в дальнейшем и был разработан вариант организации мобильной сети связи с использованием дрона.

Важнейшим этапом по организации 4G-сети с использованием БПЛА был расчёт зоны радиопокрытия защищённого радиомодуля и его использование в связке с мобильной базовой станцией LTE (eNB), а также выбор основных комплектующих для октокоптера, и расчёт его автономной работы.

Результатом выполнения расчётов проекта мобильной сети связи с помощью дрона стало решение таких задач, как организация ведомственных корпоративных мобильных сетей связи, в месте где производится технологическая связь, для передачи данных абонентов этой сети, а также в зоне оперативных действий ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций (где разрушена наземная телекоммуникационная инфраструктура связи, или на территории, где отсутствует или плохой сигнал сети), а также расширение зоны покрытия мобильной сети, используя октокоптер в качестве последней мили. Также было выполнено технико-экономическое обоснование проекта, исходя из ценовой политики на комплектацию оборудования и основные материальные затраты.

Завершающим этапом работы стало упоминание о безопасности проектируемого оборудования. Здесь также обоснованы методы самозащиты и бережного отношения к технике.

					<i>11070006.11.03.02.421.ПЗВКР</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		49

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Всё о робототехнике [Электронный ресурс] - Режим доступа: <http://www.techrobots.ru/> (Дата обращения 10.05.18)
2. Душен, В.К. Теоретические основы информационных процессов и систем [Текст] / Душен В.К. издание. - М.: Дашков, 2004. - 232с.
3. Белинская, Ю.С., Четвериков, В.Н. Управление четырехвинтовым вертолетом [Текст] / Наука и образование издание. - 2012. - № 5. - 157-171 с.
4. Ефимов, В.В., Ципенко, В.Г, Калугин, В.Т. Основы аэродинамики и динамики полета летательных аппаратов [Текст] / - М.: МГТУ ГА, 2003. - 26 с.
5. Компания IDronex [Электронный ресурс] - Режим доступа: http://idronex.ru/about_us (Дата обращения 10.05.18)
6. Компания 2TEST [Электронный ресурс] - Режим доступа: <https://www.2test.ru/> (Дата обращения 10.05.18)
7. Принципы построения сотовых систем связи [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://studref.com/304455/> (Дата обращения 05.06.18)
8. Экономические расчеты [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://edufuture.biz/> (Дата обращения 01.06.18)
9. Магниторезистивные датчики компании Huawei [Электронный ресурс] - Режим доступа: <http://honeywell.com/> (Дата обращения 01.06.18)
10. Разоренов. Г.Н., Бахрамов. Э.Л., Титов. Ю.Ф. Системы управления летательными аппаратами [Текст]: М.: Машиностроение. - 2009. - 557с.
11. Калькулятор для Мультикоптеров [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://esalc.ch/xcoptercalc.php> (Дата обращения 15.05.18)
12. Технология LTE [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://anisimoff.org/lte/lte.html> (Дата обращения 08.04.18)
13. Архитектура системы безопасности в сетях LTE [Электронный ресурс] Режим доступа: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Архитектура системы безопасности в сетях LTE](https://ru.wikipedia.org/wiki/Архитектура_системы_безопасности_в_сетях_LTE) (Дата обращения: 17.05.2018)

					<i>11070006.11.03.02.421.ПЗВКР</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		50

14. Печаткин. А.В. Системы мобильной связи [Текст] / Академическое издание РГАТА: Рыбинск. - 2008. - 68с.

15. Портал о современных технологиях мобильной и беспроводной связи [Электронный ресурс] – Режим доступа: [ttp://1234g.ru/4g/lte](http://1234g.ru/4g/lte) (Дата обращения 17.03.18)

16. Huawei [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://huawei-russia.ru/index.php?route=pavblog/blog&id=61> (Дата обращения 10.04.18)

17. Исследование использования новых стандартов сотовой связи и широкополосного доступа LTE [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://moluch.ru/archive/52/6793/> (Дата обращения 12.04.18)

18. "Молодой учёный" март 2018 [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://moluch.ru/archive/196/> (Дата обращения 01.02.18)

19. Тиховинский, В.О., Терентьев, С.В., Высачин, В.П. Сети мобильной связи LTE/LTE Advanced: технологии 4G, приложения и архитектура [Текст] / - М.: ИМП, 2014. - 384с.

20. 3GPP a global initiative [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.3gpp.org/> (Дата обращения 15.03.18)

21. Методика по расчётам разовой платы за использование в НА радиочастотного спектра [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://rkn.gov.ru/communication/p552/p779/> (Дата обращения 30.05.18)

22. Методология формирования технического облика авиационных комплексов [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://books.google.ru/books/402209/> (Дата обращения 11.03.18)

23. Квадролет и его виды [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://drongeeek.ru/novichkam/kvadrolet> (Дата обращения 25.04.18)

24. Базовые станции 3G/4G [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://habr.com/post/402209/> (Дата обращения 11.03.18)

25. Описание направления вращения [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://ohranatruda.ru/ot_biblio/norma/ (Дата обращения 17.05.18)

					<i>11070006.11.03.02.421.ПЗВКР</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		51

Выпускная квалификационная работа выполнена мной совершенно самостоятельно. Все использованные в работе материалы и концепции из опубликованной научной литературы и других источников имеют ссылки на них.

«__» _____ г.

(подпись)

(Ф.И.О.)