

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

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ СЕТИ ДЛЯ МОНИТОРИНГА ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ
СИТУАЦИЙ 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
Цехмистрова Алексея Сергеевича

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

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	3
1 АНАЛИЗ СПОСОБОВ МОНИТОРИНГА ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ В СОВРЕМЕННОМ МИРЕ	5
2 ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ ДЛЯ ДИСТАНЦИОННОГО МОНИТОРИНГА	10
3 ВЫБОР ТОПОЛОГИИ СЕТИ ДЛЯ БЕСПРОВОДНОГО УПРАВЛЕНИЯ БПЛА И СПОСОБА ПЕРЕДАЧИ СОБРАННОЙ ИНФОРМАЦИИ НА БАЗОВУЮ СТАНЦИЮ	16
3.1. Беспроводная передача данных с помощью сети 3G/LTE базовых станций операторов связи	16
3.2 Развертывание беспроводной сети с помощью передвижной базовой станции	20
3.3 Беспроводная передача данных с помощью сети Wi-Fi	22
4 РАСЧЕТ ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЯ И АВТОНОМНОЙ РАБОТЫ БПЛА С НЕОБХОДИМЫМ ОБОРУДОВАНИЕМ ДЛЯ МОНИТОРИНГА	29
5 ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПРОЕКТА	37
5.1. Расчет капиталовложений	37
5.2. Калькуляция эксплуатационных расходов.....	38
6 МЕРЫ ПО ОБЕСПЕЧЕНИЮ ОХРАНЫ ТРУДА, ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ И ОХРАНА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ	43
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	49
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	50

					<i>11070006.11.03.02.689.ПЗВКР</i>			
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Проектирование сети для мониторинга чрезвычайных ситуаций на основе беспилотных летательных аппаратов	Лит.	Лист	Листов
Разработал		Цехмистров А.С					2	52
Проверил		Болдышев А.В.						
Рецензент		Галактионов И.В.						
Н. Контроль		Болдышев А.В.						
Утвердил		Жиляков Е.Г.				<i>НИУ «БелГУ» гр. 07001410</i>		

ВВЕДЕНИЕ

Развитие инновационных методов и технологий не стоит на месте – каждый день в жизнь воплощаются различные, неиспользованные ранее проекты. Так и на смену аэрофотосъемке пришел метод дистанционного мониторинга с помощью беспилотных летательных аппаратов (БПЛА). Как правило, основная задача, возлагаемая на комплексы БПЛА, – проведение разведки труднодоступных районов, в которых получение информации обычными средствами, включая авиаразведку, затруднено или же подвергает опасности здоровье и даже жизнь людей. Применение комплексов БПЛА открывает возможность оперативного и недорогого способа обследования участков местности, периодического наблюдения заданных районов, цифрового фотографирования и видео съемки с привязкой GPS координат для использования в различных целях.

При использовании БПЛА для мониторинга возникает проблема передачи собранных данных на пункт обработки информации. Для этого необходимо построить беспроводную сеть с использованием технологий LTE/3G или Wi-Fi, учтя все нюансы построения таких сетей.

Актуальность выпускной квалификационной работы обусловлена тем, что в современном мире существует множество факторов, угрожающих жизни человека, как природных так и техногенных. Беспилотные летательные аппараты могут помочь предотвратить возникновение чрезвычайных ситуаций, а при их возникновении – облегчают работу по ликвидации ЧС. Но при этом возникает проблема, каким образом информация с БПЛА будет передаваться на пункт обработки информации.

Целью данной выпускной квалификационной работы является построение беспроводной сети по технологии LTE/3G и Wi-Fi для обмена данными между БПЛА и наземным пунктом обработки информации.

Для достижения поставленной цели необходимо выполнить следующие

						Лист
					11070006.11.03.02.689.ПЗВКР	3
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

задачи:

1. Проанализировать существующие виды и способы мониторинга чрезвычайных ситуаций в современном мире.
2. Рассмотреть возможность применения беспилотных летательных аппаратов для мониторинга чрезвычайных ситуаций.
3. Описать принцип беспроводного взаимодействия БПЛА с наземной станцией и выбрать топологию сети.
4. Рассчитать полный вес беспилотного летательного аппарата с необходимым оборудованием и вычислить время полета.
5. Рассчитать необходимые капиталовложения и стоимость эксплуатационных расходов при внедрении проекта в жизнь.
6. Привести требования по организации техники безопасности, охране труда и природоохранных мероприятий.

						Лист
						4
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	11070006.11.03.02.689.ПЗВКР	

1 АНАЛИЗ СПОСОБОВ МОНИТОРИНГА ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ В СОВРЕМЕННОМ МИРЕ

Целью мониторинга чрезвычайных ситуаций является заблаговременное получение качественной и количественной информации о возможном времени и месте чрезвычайных ситуаций, характере и степени связанных с ними опасностей для населения и территорий и оценка возможных масштабов и ущерба от чрезвычайных ситуаций.

При этом основное внимание должно быть сосредоточено на создании технологий оценки опасности функционирования критически важных и потенциально опасных объектов и технологий оценки опасности прогнозируемых природных явлений, прежде всего циклических (весеннее половодье, природные пожары и др.). Данные технологии должны основываться на достоверном контроле состояния и безопасности функционирования критически важных и потенциально опасных объектов, мониторинге предвестников опасных природных явлений, а также определении степени риска возникновения чрезвычайных ситуаций[10].

При организации мониторинга и прогнозирования чрезвычайных ситуаций необходимо учитывать основные особенности для чрезвычайных ситуаций природного характера и для чрезвычайных ситуаций техногенного характера.

Риск чрезвычайных ситуаций природного характера определяется большим количеством факторов локального, регионального, глобального и космического характера. Суммирующий эффект взаимодействия определяющих факторов, в том числе и поражающих, характеризуется тем, что их действие существенно превосходит эффект отдельных факторов в виде их простой суммы, то есть в явном виде наблюдается явление сложно предсказуемого действия. Прогнозируемые опасные природные явления имеют множество предвестников, которые необходимо изучать, однако большинство из них не

						Лист
					11070006.11.03.02.689.ПЗВКР	5
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

являются специфичными для конкретного прогнозируемого опасного природного явления.

Для чрезвычайных ситуаций техногенного характера существует необходимость проведения вероятностного анализа безопасности потенциально опасных объектов, определение и уточнение показателей риска и перечня типовых аварий.

Деятельность по мониторингу и прогнозированию чрезвычайных ситуаций осуществляется многими организациями (учреждениями), при этом используются различные методы и средства. Например, мониторинг и прогноз событий гидрометеорологического характера осуществляется учреждениями и организациями Росгидромета, который, кроме того, организует и ведет мониторинг состояния и загрязнения атмосферы, воды и почвы.

Техническую основу мониторинга составляют наземные и авиационно-космические средства соответствующих министерств, ведомств, территориальных органов власти и организаций (предприятий) в соответствии со сферами их ответственности[6].

При этом главной составляющей являются наземные средства Сети наблюдения и лабораторного контроля гражданской обороны Российской Федерации, ее основных звеньев, подведомственных Росгидромету, Минсельхозу России, Минздраву России и Минприроды России, а также средства контроля и диагностики состояния потенциально опасных объектов экономики, являющихся основными источниками чрезвычайных ситуаций техногенного характера.

Космические средства мониторинга предназначаются, в основном, для выявления и уточнения обстановки, связанной с лесными пожарами, наводнениями и другими крупномасштабными, опасными природными явлениями и процессами с незначительной динамикой.

Авиационные средства используются для тех же целей, что и космические, а также для получения данных о состоянии радиационной

					11070006.11.03.02.689.ПЗВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		6

обстановки, обстановки в зонах широкомасштабных разрушений, о состоянии магистральных трубопроводов и другой обстановки (дорожной, снежной, ледовой и т.п.). Они имеют более широкие возможности, по сравнению с космическими средствами, как по составу объектов наблюдения, так и по оперативности и поэтому находятся на оснащении целого ряда соответствующих мониторинговых подразделений с учетом сфер ответственности последних[10].

В зависимости от складывающейся обстановки, масштаба прогнозируемой или возникшей чрезвычайной ситуации система мониторинга и прогнозирования чрезвычайных ситуаций функционирует в режиме повседневной деятельности, режиме повышенной готовности или режиме чрезвычайной ситуации.

Прогнозирование чрезвычайных ситуаций включает в себя достаточно широкий круг задач (объектов или предметов), состав которых обусловлен целями и задачами управленческого характера.

В настоящий момент, идея применения беспилотных летательных аппаратов для мониторинга чрезвычайных ситуаций переживает настоящий бум. Даже Европейская ассоциация номеров экстренных служб – EENA (European Emergency Number Association) – заявила о серьезных намерениях рассмотреть все возможные варианты использования дронов в работе экстренных служб.

Основная идея здесь проста: предполагается, что «беспилотники» будут непрерывно контролировать состояние как потенциально опасных территорий, так и уже пострадавших районов, передавая информацию о состоянии контролируемых территорий соответствующим органам управления. Для успешной реализации этой цели ассоциация объявила о партнерстве с крупнейшим производителем потребительских дронов – компанией DJI. В рамках партнерства специалисты обеих организаций будут совместно искать пути интеграции «беспилотников» в миссии экстренного реагирования.

						Лист
					11070006.11.03.02.689.ПЗВКР	7
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Задача обнаружения ЧС является одной из самых важных и заключается в том, чтобы достоверно установить факт ЧС и оперативно передать соответствующие координаты. Как правило, мониторинг территорий инициируется в местах с высокой вероятностью возникновения различных аварий и катастроф. Это могут быть лесные массивы во время пожароопасных погодных условий, водные акватории и береговые линии во время угрозы наводнений, анализ воздуха на предмет химических и радиоактивных загрязнений и т.д. (вплоть до мониторинга дорожных автомагистралей в период повышенной аварийности). Полученная информация может обрабатываться в режиме реального времени, передаваясь по каналам связи на пункт управления, или анализироваться по возвращении «беспилотника». Все это позволит своевременно оценить текущую ситуацию и значительно сократить жертвы и масштабы обнаруженных ЧС.

Включение беспилотных летательных аппаратов в состав сил и средств, направленных на ликвидацию ЧС также может принести много пользы[11]. «Беспилотники» способны заменить самолеты и вертолеты при проведении операций с высоким риском для жизни экипажа и исключить потерю дорогостоящих пилотируемых авиационных средств. Иногда такие аппараты могут стать просто незаменимыми при проведении поисково-спасательных операций на суше и море. Поиск может проводиться по заранее введенному полетному заданию, которое также может быть всегда скорректировано оператором. Помимо этого, дроны могут быть использованы при доставке необходимых медикаментов в зоны ЧС, тем самым спасая жизнь многим людям.

Таким образом, в современном мире прогнозирование и мониторинг чрезвычайных ситуаций определяется большим количеством факторов локального, регионального, глобального и космического характера. Все эти средства являются дорогостоящими, требующими больших затрат и труда людей. Альтернативой является применять для этих целей беспилотные

						Лист
						8
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	11070006.11.03.02.689.ПЗВКР	

летательные аппараты, которые намного дешевле, просты в обслуживании, не требуют тщательной подготовки кадров для работы с ними. Также, БПЛА снижают риск гибели экипажа спасательных средств, производят мониторинг в зонах серьезной опасности, доставляют медикаменты в места чрезвычайной ситуации.

						Лист
						9
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	11070006.11.03.02.689.ПЗВКР	

2 ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ ДЛЯ ДИСТАНЦИОННОГО МОНИТОРИНГА

В настоящее время структурные подразделения МЧС России постепенно оснащаются техническими средствами, необходимыми для разведки труднодоступных и масштабных зон чрезвычайных ситуаций природного, техногенного и террористического характера (далее зон ЧС). В этой связи и для этих целей территориальными органами МЧС, как правило, заключаются договора с авиапредприятиями либо применяется авиация региональных центров. Однако использование возможностей пилотной авиации не всегда эффективно из-за достаточно длительного времени реагирования (до 6 часов), больших финансовых затрат (стоимость одного часа полёта более 25 тыс. рублей), жёсткой зависимости от погодных условий и еще множества факторов[11].

Наиболее перспективным направлением для решения данной проблемы, является применение беспилотных летательных аппаратов (далее БПЛА), которыми можно оснастить оперативные группы территориальных органов управления МЧС. Можно рассмотреть возможности их применения на примере такой крупномасштабной ЧС, как лесной пожар. Важную роль в управлении пожарной оперативной обстановкой имеет знание динамики развития лесного пожара во времени с момента его возникновения, последующего тушения и ликвидации. Продолжительность действия пожаров определяет затраты материальных и трудовых ресурсов на ликвидацию их и вызываемых ими отрицательных последствий. Основной задачей управления пожарами является сокращение сроков их действия на стадиях, предшествующих началу тушения, и на последующих этапах их ликвидации, что позволяет снизить величину условно допустимой площади пожара и повысить, таким образом, уровень их охраны[12].

						Лист
						10
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	11070006.11.03.02.689.ПЗВКР	

Как известно, развитие лесного пожара при отсутствии управляющих воздействий протекает по следующей схеме: возникновение горения лесных горючих материалов (самовозгорание, вынужденное возгорание и зажигание), распространение горения по лесной площади, сгорание лесных горючих материалов и потухание. Анализ временной структуры процессов развития лесного пожара, его тушения и ликвидации позволяет выделить следующие временные этапы:

- 1) время действия пожара до обнаружения – начальный скрытый промежуток времени горения в лесу до момента обнаружения пожара;
- 2) время ожидания с момента обнаружения до выезда к месту действия;
- 3) время следования к месту развития пожара;
- 4) разведка лесного пожара (с момента прибытия до начала тушения);
- 5) время остановки лесного пожара (ликвидация пламенного горения на кромке пожара);
- 6) время локализации пожара (ликвидация беспламенного горения на кромке);
- 7) время дотушивания пожара (тушение явных очагов горения на площади пожара);
- 8) время окарауливания (тушение скрытых очагов горения до ликвидации пожара).

Таким образом, остро встает задача уменьшения временных интервалов, начиная с этапа разведки лесного пожара и до момента его ликвидации.

Одним из способов её решения является применение БПЛА. Их основное предназначение состоит в постоянной разведке зоны ЧС (в данном случае лесного пожара), начиная с этапа собственно разведки и заканчивая окарауливанием зоны пожара. При этом руководитель тушения пожара (РТП) постоянно получает информацию:

– о виде и размерах пожара, рельефе местности, скорости и направлении

						Лист
					11070006.11.03.02.689.ПЗВКР	11
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

распространения огня, ожидаемом развитии пожара в период его тушения, вероятности его распространения на населенные пункты, пансионаты, дома отдыха, объекты лесозаготовки, торфяные поля;

– об участках, где возможно наиболее интенсивное развитие пожара (хвойный молодняк, захламленные участки леса, площади пожароопасных культур, временные склады лесоматериалов, торфоразработки и т.п.).

Для правильной организации тушения РТП получает наглядную информацию о возможных препятствиях, способствующих остановке огня; выгодных для организации защиты рубежах; возможностях и путях подъезда к кромке леса, границе пожара с целью применения механизированных средств локализации и тушения, а также о наличии и возможностях использования естественных водоисточников; безопасных местах стоянки транспортных средств и путях отхода людей в места укрытия на случай прорыва огня[12].

При необходимости, оценив обстановку на основании данных, полученных с БПЛА, РТП своевременно принимает решение на манёвр сил и средств, выбор решающего направления действий по тушению лесного пожара.

Совершенно очевидно, что на сегодняшний день применение беспилотных систем имеет явную экономическую выгоду, так как стоимость 1 моточаса работы беспилотных систем в пять и более раз меньше стоимости работы обычных типов самолётов и вертолёт, применяемых в системе авиационной охраны лесов (АОЛ). Для АОЛ первоочередными путями повышения эффективности является широкое применение инструментальных средств разведки лесных пожаров. Оснащение БПЛА АОЛ тепловыми датчиками инфракрасного и микроволнового диапазонов в качестве инструментальных средств разведки и диагностики пожаров следует признать основным направлением совершенствования охраны лесов. Теплолокатор микроволнового диапазона способен получать информацию о положении горячей кромки и протяжённости активной зоны горения, как при верховых, так и при низовых (скрытых пологом леса) и подземных пожарах (пожары на

торфяниках). Многочисленные исследования очагов лесных пожаров показали, что наибольшей информативностью для решения задач АОЛ обладает миллиметровый диапазон радиоволн.

Основными преимуществами использования БПЛА можно считать высокую вероятность обнаружения очага, обеспечение максимальной ширины полосы обзора, возможность опережающего (по полёту) получения информации о положении горящей кромки в целях обеспечения безопасности личного состава, задействованного на тушение лесного пожара.

На сегодняшний день система применения беспилотных летательных аппаратов динамично развивается. Постоянно происходит развитие на качественно новом уровне уже не только беспилотных аппаратов, но и всех технологий считывания информации, мониторинга обстановки, комплексной оценки опасностей и угроз дистанционного радиационного, химического и биологического мониторинга; где существует угроза жизни человека, должны работать «беспилотники» и роботы.

Использование БПЛА вместо авиации имеет ряд преимуществ:

- Осуществляются полеты при различных погодных условиях;
- Проводится воздушный мониторинг в труднодоступных и удаленных районах;
- «Беспилотники» являются безопасным источником достоверной информации;
- Позволяют предотвращать ЧС при регулярном наблюдении;
- Обнаруживают ЧС (лесные пожары, горение торфяников) на ранних стадиях;
- Исключают риск для жизни и здоровья человека.

БПЛА в режиме реального времени передают информацию с места происшествия, а также позволяют в кратчайшие сроки сосредоточить силы и средства для ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций природного, техногенного или террористического характера. Главным преимуществом

						Лист
					11070006.11.03.02.689.ПЗВКР	13
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

БПЛА в решении подобных задач является сокращение временного интервала с момента возникновения происшествия и до момента его устранения, что особенно актуально при организации поисково-спасательных операций во время масштабных пожаров и наводнений.

Другим важным фактором в пользу применения БПЛА в условиях ЧС является исключение риска для жизни и здоровья человека[10]. По статистике, благодаря внедрению БПЛА в систему функционирования МЧС значительно сократилось количество погибших при ЧС. Примеров, доказывающих данную статистику, немало.

Другой пример неопределимого вклада БПЛА в безопасный мониторинг и ликвидацию последствий происшествия – взрыв боеприпасов в п. Пугачево Удмуртской республики в июне 2011 года. При помощи беспилотных летательных аппаратов проводилась разведка с места происшествия и оперативное информирование руководящего состава для принятия управленческих решений.

Во время полетов уточнялись наиболее интенсивные места взрывов боеприпасов, пожаров как в населенных пунктах, так и в лесной местности. Просматривались наиболее безопасные маршруты ввода сил и средств на территорию арсенала, координировалась работа пилотируемой авиации по сбросу огнетушащих веществ в район арсенала. В дальнейшем фото- и видеоинформация использовалась для обнаружения нераззорвавшихся боеприпасов и их фрагментов за территорией арсенала.

В феврале 2014 года БПЛА позволили отрядам МЧС по Кировской области держать под контролем обстановку во время пожара на железнодорожной станции (сошел с рельс и загорелся состав с газовым конденсатом), грамотно концентрировать силы для безопасной эвакуации жителей и ликвидации последствий происшествия. Воздушный мониторинг зоны ЧС осуществлялся в дневное и ночное время суток, полностью исключая риск для жизни населения и аварийно-спасательной группы.

Ежегодно, с наступлением пожароопасного и паводкового периодов БПЛА позволяют региональным отделениям МЧС России осуществлять регулярный мониторинг лесных массивов и водных объектов, выявлять на ранних стадиях возникновение пожаров (в том числе и торфяных), следить за распространением огня и определять тип пожара (верховой, низовой), оценивать и держать под контролем масштабы наводнения.

Другой, не менее важной задачей, решаемой сотрудниками МЧС, является поиск людей, в том числе и заблудившихся в лесу. Благодаря беспилотным летательным аппаратам, осуществляющим полеты даже на самых удаленных и труднодоступных участках местности, ежегодно обнаруживаются сотни людей. Беспрецедентным случаем в практике применения БПЛА для поиска людей стало нахождение якутскими спасателями мужчины, заблудившегося в тайге (июнь 2014 года). Он был обнаружен лежащим в болотистой местности. Благодаря «беспилотнику», МЧС смогли определить координаты этого места, и вскоре спасатели нашли пожилого мужчину, состояние его здоровья было критическим.

Таким образом, применение беспилотных летательных аппаратов в современном мире не только возможно, но и крайне необходимо. Использование БПЛА намного облегчает мероприятия по прогнозированию и ликвидации чрезвычайных ситуаций, позволяет удешевить и поднять эффективность операций, сохранив при этом десятки жизней.

						Лист
					11070006.11.03.02.689.ПЗВКР	15
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

3 ВЫБОР ТОПОЛОГИИ СЕТИ ДЛЯ БЕСПРОВОДНОГО УПРАВЛЕНИЯ БПЛА И СПОСОБА ПЕРЕДАЧИ СОБРАННОЙ ИНФОРМАЦИИ НА БАЗОВУЮ СТАНЦИЮ

3.1. Беспроводная передача данных с помощью сети 3G/LTE базовых станций операторов связи

Проводя мониторинг каких-либо районов, беспилотные летательные аппараты должны постоянно передавать собираемую информацию на пункт обработки данных, такую как: координаты GPS, фотоснимки или потоковое видео в режиме реального времени, данные с установленных датчиков, высоту и время полета. Ключевым фактором является дальность полета, ведь БПЛА могут улетать на расстояние до 20 километров. Передача информации может осуществляться с помощью встроенного Wi-Fi передатчика на расстояние до двух километров при прямой видимости. Но прямая видимость не всегда возможна и расстояние, на которое улетают «беспилотники» намного больше. Тогда сеть между пунктом обработки данных и БПЛА можно развернуть с помощью сети 4-го поколения 4G LTE или 3G.

Технология LTE представляет собой обладающий огромной гибкостью эфирный интерфейс. Тип сети носит термин E-UTRAN – Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (развивающаяся многоцелевая наземная сеть радиодоступа). Далее приведены главные характеристики технологии LTE.

1. Технология множественного доступа:

- прямой канал (Downlink – DL) – OFDMA;
- обратный канал (Uplink – UL) – SC-FDMA.

2. Диапазон рабочих частот:

450 МГц; 700 МГц; 800 МГц; 1800 МГц; 2,1 ГГц; 2,4-2,5 ГГц; 2,6-2,7 ГГц.

3. Битовая скорость:

- Нисходящий канал (DL) MIMO 2TX × 2RX: 100-300 Мбит / с;

									Лист
									16
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	11070006.11.03.02.689.ПЗВКР				

- Восходящий канал (UL): 50-172,8 Мбит / с.
4. Ширина полосы радиоканала: 1,4 – 20 МГц.
 5. Радиус ячейки: 5-30 км.
 6. Емкость ячейки:
 - более 200 пользователей при полосе 5 МГц;
 - более 400 пользователей при полосе больше 5 МГц.
 7. Мобильность: скорость перемещения до 250 км/ч.
 8. Параметры MIMO:
 - прямой канал (DL): 2TX×2RX, 4TX×4RX;
 - обратный канал (UL): 2TX×2RX.
 9. Значение задержки (latency): 5 мс.
 10. Поддерживаемые виды модуляции:
 - Нисходящий канал (DL): 64 QAM, QPSK, 16 QAM.
 - Восходящий канал (UL): QPSK, 16 QAM.
 11. Дуплексное распределение каналов: FDD, TDD.

Архитектура сети LTE спроектировано так, чтобы гарантировать обеспечение пакетного трафика с «бесшовной» мобильностью, наименьшими задержками доставки пакетов и высочайшими показателями качества сервиса. Приоритетом конструкторов стандарта LTE были предельно вероятное облегчение структуры сети и исключение вспомогательных функций сетевых протоколов, специфических для системы 3GUMTS[16].

В архитектуре стандарта LTE все без исключения сетевое согласование совершается между 2-мя узлами: блоком управления мобильностью (MME), который содержит в себе сетевой шлюз GW (Gateway) и базовой станцией (eNB).

Сеть E-UTRAN заключается из базовых станций eNB. Базовые станции представляют собой компоненты полно связной сети и объединены друг с другом согласно принципу «каждый с каждым». На базовую станции (eNB) в

					11070006.11.03.02.689.ПЗВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		17

сетях LTE возложены соответствующие функции: регулирование радио ресурсами, шифрование потока пользовательских сведений, маршрутизация в пользовательской плоскости пакетов сведений по направлению к обслуживающему шлюзу, диспетчеризация и предоставление вызывной и вещательной информации, определение и создание отчетов с целью управления мобильностью.

Радио интерфейс сети LTE E-UTRAN поддерживает два способа дуплексного разнесения каналов: частотный FDD и временной TDD. Функционирование сетей LTE имеет возможность выполняться в частотных диапазонах с разной шириной. Сигналы нисходящего и восходящего направлений смогут занимать полосы от 1,4 до 20 МГц в зависимости от числа действующих ресурсных блоков. Передача данных в восходящем и нисходящем течениях организована в кадрах, продолжительность которых одинакова - 10 мс[16].

Главной проблемой, образующейся при взаимодействии сети LTE с сетями мобильной связи стандартов 3G (UMTS/GSM/HSPA+) считается – поддержка мобильности БПЛА при его передвижении из области обслуживания одной сети вместо обслуживания другой. Взаимодействие сети LTE с сетями 3G состоит в обеспечении дискретной мобильности (роуминга) и предоставления постоянной мобильной связи (хэндовера).

Технология, что предполагает собою беспроводной доступ, предусматривающая применение нескольких передатчиков и приемников, с целью одновременной передачи наибольшего числа данных иначе называемая MIMO (Multiple Input Multiple Output – многочисленный доступ, многочисленный вывод). Технология MIMO в сетях LTE представляет одну из значимых ролей в обеспечении высоких скоростей передачи данных.

Технология MIMO применяет результат передачи радиоволн, именуемый многолучевым распространением, когда передаваемые сигналы отражаются с большого количества предметов и преград и радиоантенна принимает сигналы

						Лист
					11070006.11.03.02.689.ПЗВКР	18
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

под различными углами и в разное время. Использование технологии MIMO дает возможность повысить помехоустойчивость каналов связи, сократить относительное количество битов, принятых с погрешностью, что особенно актуально при использовании сети LTE для беспилотных летательных аппаратов. Работа системы MIMO может быть организована 2-ум способом: в первом случае согласно принципу пространственного уплотнения и во втором случае по принципу пространственно-временного кодирования.

На рисунке 3.1 показан район с лесным массивом, вокруг которого расположены базовые станции оператора. БПЛА, облетая лес, постоянно находится в зоне покрытия радиомачт, а значит непрерывно передает информацию о мониторинге на наземный пункт.

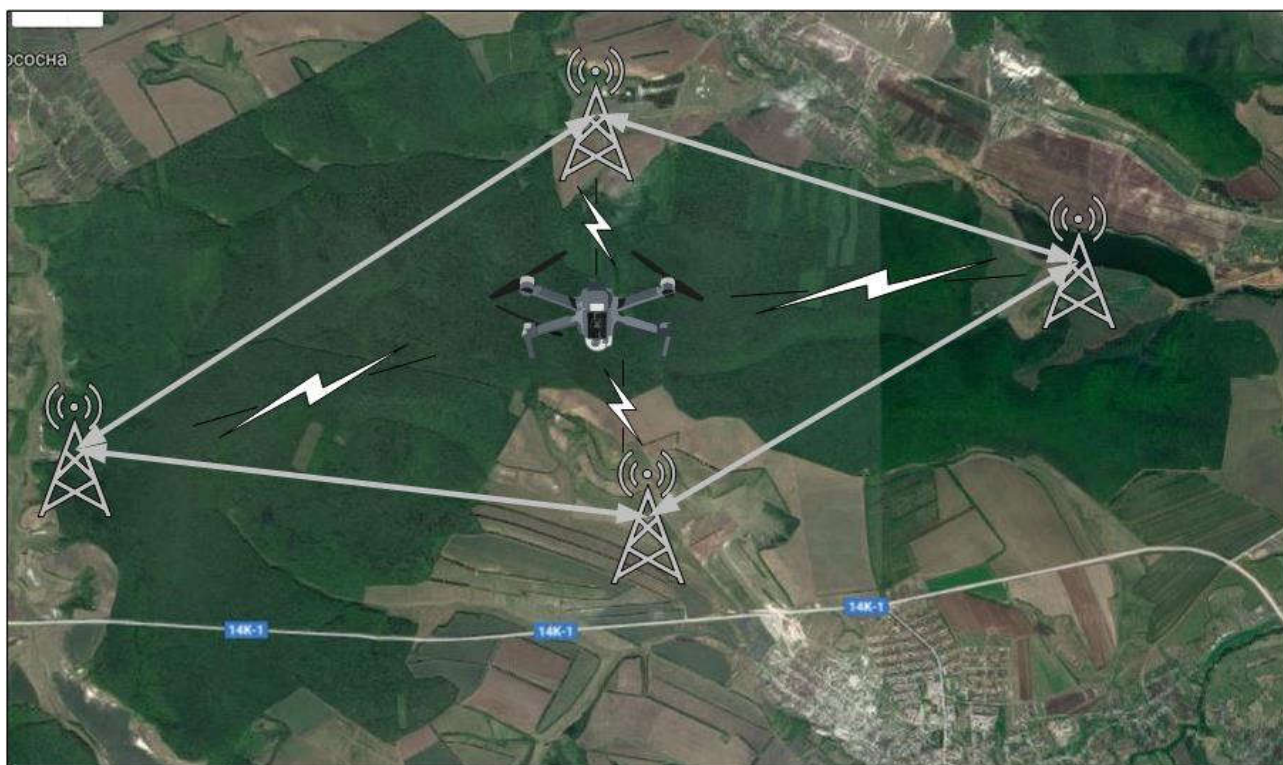


Рисунок 3.1 – Схема организации беспроводной сети LTE/3G для БПЛА

3.2 Развертывание беспроводной сети с помощью передвижной базовой станции

В том случае, когда БПЛА облетает территорию вне зоны действия сети или произошла чрезвычайная ситуация и базовые станции не работают – используются передвижные базовые станции, установленные на автомобилях.

Для развертывания передвижной базовой станции не нужно много места. Передвижная базовая станция позволяет не только увеличить емкость сотовой сети в конкретном месте, но и улучшить ее покрытие или обеспечить его в новом месте.

Радиооборудование состоит из приемо-передатчиков стандарта 2G/3G/4G+, способных работать в диапазонах 900, 1800, 2100, 2600 МГц, что позволяет обеспечить как голосовую связь, так и высокоскоростной мобильный интернет. Такие базовые станции могут быть размещены в небольшом микроавтобусе. Размещение оборудования в нем требует минимума доработок, не считая крепежа антенной мачты. Правда, чтобы повысить устойчивость, автомобиль оснащается крепежом для присоединяемых упоров. Кроме того, необходимо кардинально переработать приточно-вытяжную систему кондиционирования, снабдив ее дополнительными вентиляторами[15].

Каждый комплекс оснащен дизель-генератором, обеспечивающим автономным питанием все оборудование, включая механизм подъема антенной мачты. Все комплексы мобильной связи снабжены телескопическими выдвижными мачтами. Несмотря на большое количество подобных изделий, представленных на рынке, мачт, способных выдержать климатические условия средней полосы России, в ассортименте иностранных производителей нет. Постоянные колебания температуры, конденсация влаги внутри механизма и ее замерзание приводят к разрыву труб. Поэтому было отдано предпочтение мачтам российских производителей.

						Лист
					11070006.11.03.02.689.ПЗВКР	20
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Передвижной комплекс связи обычно разворачивают два-три универсальных специалиста в течение трех-шести часов[15]. Для интегрирования мобильной базовой станции в инфраструктуру оператора требуется организовать служебную линию связи. Для этого используются защищенные медные кабели (протяженностью до 150 метров), оптоволоконные каналы, радиорелейные линии связи, спутниковые каналы. Правильно настроенная базовая станция способна обеспечить голосовой связью и мобильным интернетом, в зависимости от используемых диапазонов, от нескольких сотен до нескольких тысяч абонентов на расстоянии 5-25 километров.



Рисунок 3.2 – Схема организации беспроводной сети с помощью передвижной базовой станции

3.3 Беспроводная передача данных с помощью сети Wi-Fi

В том случае, когда зона мониторинга находится на небольшом расстоянии, можно обойтись без использования сотовой сети LTE/3G с помощью технологии Wi-Fi - семейство протоколов беспроводной передачи данных IEEE 802.11x (802.11a, 802.11b, 802.11g, 802.11n и т.д.). Стандарт беспроводной сети 802.11x, который является составной частью стандартов локальных сетей IEEE802.x, охватывает только два нижних уровня семиуровневой модели OSI (Open System Interconnection) – физический и канальный, в наибольшей степени отражающие специфику локальных сетей. Беспроводные сети отличаются от кабельных сетей на физическом (Phy) и частично на канальном (MAC) – уровнях модели взаимодействия OSI[1].

Физический уровень IEEE 802.11x - радиоканал. Этот уровень характеризует параметры физической среды передачи данных. Стандарт IEEE 802.11x обеспечивает передачу сигнала, несущего информацию, одним из методов: прямой последовательности (DSSS - Direct Sequence Spread Spectrum) и частотных скачков (FHSS - Frequency Hopping Spread Spectrum). Эти методы отличаются способом модуляции, но используют одинаковую технологию расширения спектра.

Канальный уровень осуществляет управление доступом к передающей среде и обеспечивает пересылку кадров между любыми двумя устройствами беспроводной сети. Канальный уровень разделяется на два подуровня: MAC - управление доступом к среде передачи данных и LCC - управление логическим каналом.

Подуровень MAC у этих стандартов несколько отличается. Отличия обусловлены тем, что в Wi-Fi используется полудуплексный режим передачи данных, а в кабельных сетях с архитектурой Ethernet - дуплексный режим. Методы доступа к среде передачи данных, которые используются в локальных беспроводных сетях Wireless LAN (WLAN) - это методы множественного

						Лист
					11070006.11.03.02.689.ПЗВКР	22
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

доступа с контролем несущей и предупреждением коллизий или столкновений (CSMA/CA - Carrier Sense Multiple Access/Collision Avoidance). В ЛВС с архитектурой Ethernet используется метод доступа с контролем несущей и обнаружением коллизий (CSMA/CD - Carrier Sense Multiple Access/Collision Detect)[1].

После того, как доступ к среде получен, ею может воспользоваться подуровень LSS. Подуровень LSS, организующий передачу кадров информации, один и тот же в беспроводных сетях Wi-Fi и в кабельных сетях с архитектурой Ethernet.

Сети Wi-Fi работают на частотах 2,4 ГГц или 5 ГГц. В стандарте 802.11a используется частота 5 ГГц. В стандартах 802.11b и 802.11g (совместимость с 802.11b) используемая частота - 2,4 ГГц. В стандарте 802.11n (совместимость с 802.11a,b,g) используемая частота - 2,4 или 5 ГГц.

Для беспроводных сетей, работающих в стандартах 802.11b,g,n на частоте 2,4 ГГц, диапазон шириной 83 МГц разделен на 14 каналов (от 2,412 ГГц - 1 беспроводной канал до 2,484 ГГц - 14 канал) через 5 МГц между центральными частотами соседних каналов, за исключением 14 канала.

Наземный пункт обработки информации может быть как стационарный, организованный в здании рядом с зоной мониторинга, так и мобильный. Для обеспечения беспроводной Wi-Fi сетью БПЛА и наземный пункт, можно использовать сетевую карту Intel Dual Band Wireless-AC 7260 с антеннами с усилением 5 дБи, установленную на «беспилотник». Для наземного пункта был выбран WiFi - маршрутизатор ASUS RT-AC87U с подключенной всенаправленной внешней антенной ZyXEL ANT2105-ZZ0101F с усилением 4,5 дБи в диапазоне 2,4 ГГц и 7 дБи в диапазоне 5 ГГц. На рисунке 3.3 показана схема организации беспроводной сети Wi-Fi между наземным пунктом обработки информации и беспилотным летательным аппаратом.

						Лист
					11070006.11.03.02.689.ПЗВКР	23
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

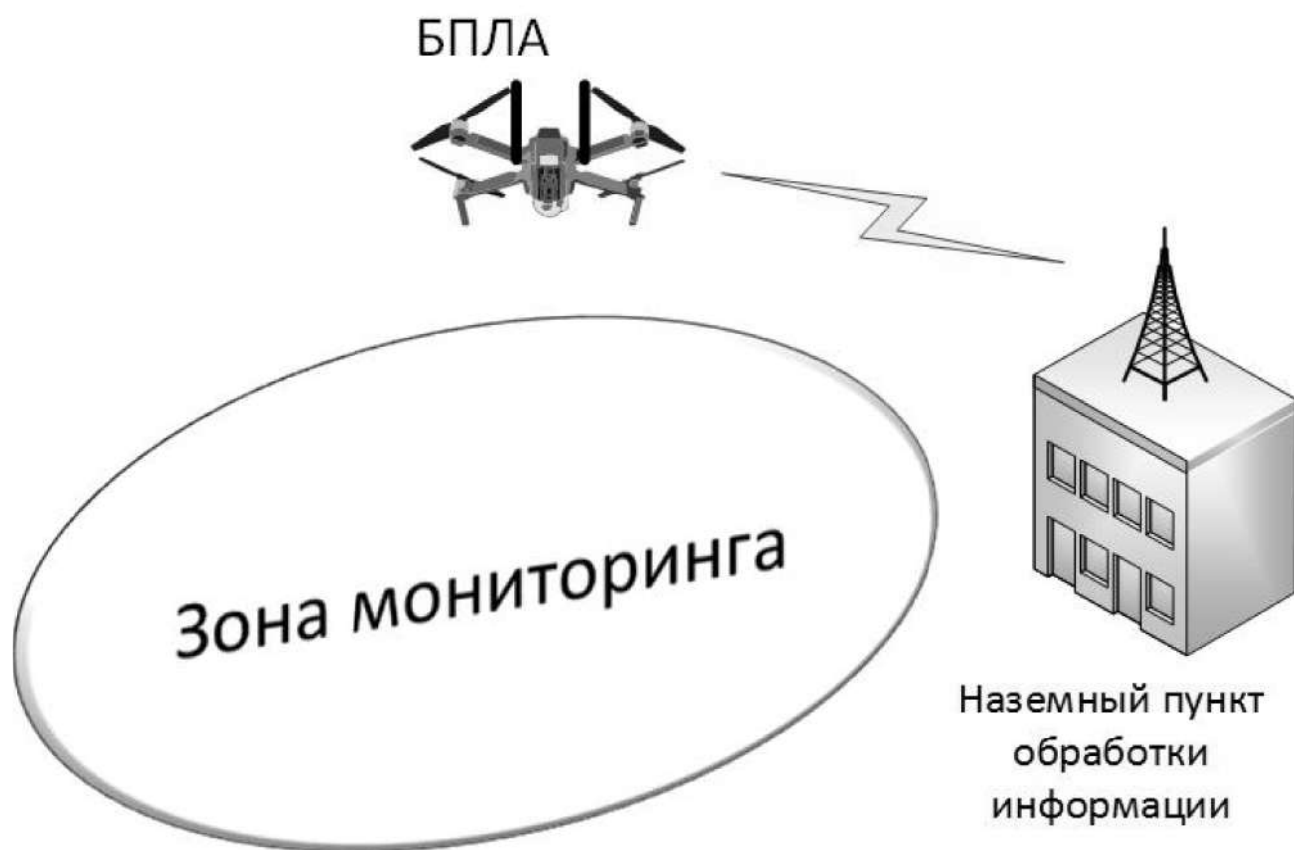


Рисунок 3.3 - Схема организации беспроводной сети Wi-Fi для БПЛА

При обмене данными беспилотного летательного аппарата с наземным пунктом обработки информации по сети Wi-Fi, можно использовать два режима работы. Первый режим работы – "Инфраструктурный", он реализуется на большинстве коммерческих Wi-Fi роутеров. В этом режиме точка доступа выступает в роли центрального узла (Access Point, AP), которая соединяет все устройства в сети и выступает в роли шлюза для подключения к сети Интернет. То есть в этом режиме точка доступа принимает на себя все задачи по управлению сетью. В качестве второго режима работы рассматривается режим "Ad-Нос", который менее распространен в современных реалиях. В этом режиме ни один беспроводной узел не выступает в роли центрального узла, все узлы равноправны и образуют так называемую ячеистую сеть (Mesh Network). Так как все узлы равноправны, то каждый узел в отдельности принимает на себя задачи клиента (хоста) и маршрутизатора. Кроме того, узлы Ad-Нос могут

перемещаться, образуя так называемую мобильную сеть (Mobile Ad-hoc NETwork - MANET). Достоинство этого режима заключается в том, что соединение между узлами может быть динамически изменено при перемещении устройств. Но эффективная работа такой сети может сильно зависеть от алгоритмов маршрутизации, отвечающих за доставку пакетов между узлами сети. Из-за динамического характера топологии сети "стоимость" пути между узлами должна периодически пересчитываться для поиска наилучших путей. Ниже описан теоретический расчет радиопокрытия с использованием моделей распространения радиоволн: "Free Space" (свободного пространства, Фриис) и модель WINNER D1. Формула Фрииса обычно используется, когда необходимо определить силу радиосигнала между передатчиком и приемником при отсутствии объектов на пути распространения радиоволн. Эта модель применяется только при расчете полей в дальней зоне, расчет производится по формуле:

$$L_{\text{prop}} = 20\log_{10}(d(\text{m})) + 20\log_{10}(f(\text{MHz})) - 27.55. \quad (3.1)$$

Модель WINNER D1 в отличие от модели Free Space представляет собой стохастическую модель, учитывающую потери в беспроводном канале связи для различных типов сред. Дальность связи по формуле WINNER D1 определяется по формуле:

$$L_{\text{prop}} = A \times \log_{10}(d(\text{m})) + B + C \times \log_{10}\left(\frac{f_c|\text{GHz}|}{5.0}\right). \quad (3.2)$$

В ней неопределенные буквенные переменные имеют следующие значения $A = 21.5$, $B = 44.2$, и $C = 20$. Они подбираются исходя из начальных условий при решении задачи [1].

При расчетах мощность передатчика для Uplink и Downlink была принята равной 20 дБм (100 мВт). Расчет дальности связи производился для разных

					11070006.11.03.02.689.ПЗВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		25

версий стандартов IEEE 802.11. В таблице 3.1 и 3.2 приведены результаты расчетов для нисходящего канала (Downlink) и для восходящего (Uplink).

Таблица 3.1 – Результаты расчетов для нисходящего канала(Downlink)

Стандарт		Скорость Мбит/с	Модель волн	Радиус (м)	Макс. расстояние(м)		
1	2	3	4	5	6		
2.4 ГГц	802.11b	11	Фриис	6719	6718,9		
			Winner D1	4613	4612,9		
	802.11g	54	Фриис	950	949,95		
			Winner D1	747	746,93		
			802.11n	144	Фриис	754	753,93
				Winner D1	603	602,92	
	300	Фриис	534	533,91			
		Winner D1	438	437,89			
	5 ГГц	802.11a	6	Фриис	2562	2561,90	
				Winner D1	1882	1881,90	
54			Фриис	362	361,86		
			Winner D1	305	304,84		
802.11ac	78	Фриис	182	181,73			
		Winner D1	161	160,69			
	802.11n	144	Фриис	145	144,65		
			Winner D1	130	129,61		
		300	Фриис	115	114,56		
			Winner D1	105	104,52		
802.11ac	200	Фриис	102	101,51			
		Winner D1	94	93,40			
	866	Фриис	65	64,25			
		Winner D1	62	61,19			

Таблица 3.2 - Результаты расчетов для восходящего канала (Uplink)

Восходящий канал(Uplink)					
Стандарт		Скорость Мбит/с	Модель волн	Радиус(м)	Макс. расстояние(м)
2.4	802.11b	11	Фриис	2440	2439,90
			Winner D1	2227	2226,90
	802.11g	54	Фриис	487	486,90
			Winner D1	402	401,88
	802.11n	72.2	Фриис	274	273,82
			Winner D1	235	234,79
300		Фриис	194	193,74	
		Winner D1	171	170,71	
5 ГГц	802.11a	6	Фриис	1475	1474,90
			Winner D1	1126	1125,90
		54	Фриис	234	233,79
			Winner D1	203	202,75

Максимальная скорость передачи данных по Wi-Fi различается для различных версий стандарта 802.11 и определяется главным образом методами модуляции, кодированием и технологиями расширения спектра, а также количеством пространственных потоков, шириной канала и пр. Ниже для сравнения приведены максимальные теоретически достижимые скорости передачи данных для двух высот нахождения БПЛА. Точки доступа настраиваются на самопроизвольный выбор версии протокола 802.11g-802.11n для обеспечения наилучших условий передачи в зависимости от качества канала связи. Максимально достижимые скорости в данном случае приведены в таблице 3.3.

**Таблица 3.3 - Скорость передачи данных в зависимости от высоты и удаленности
БПЛА**

Высота БПЛА:	10 м		20 м	
Расстояние (м)	Режим AP	Режим Ad-hoc	Режим AP	Режим Ad-hoc
15	54 Мбит/с	-	45 Мбит/с	-
18	60 Мбит/с	-	135 Мбит/с	-
21	54 Мбит/с	-	90 Мбит/с	-
24	90 Мбит/с	-	30 Мбит/с	-
27	81 Мбит/с	-	54 Мбит/с	-
30	5 Мбит/с	6 Мбит/с	30 Мбит/с	-
33	5 Мбит/с	6 Мбит/с	40 Мбит/с	-
36	5 Мбит/с	11 Мбит/с	30 Мбит/с	11 Мбит/с
39	81 Мбит/с	5.5 Мбит/с	30 Мбит/с	5.5 Мбит/с
42	81 Мбит/с	11 Мбит/с	81 Мбит/с	5.5 Мбит/с
45	5 Мбит/с	1 Мбит/с	5 Мбит/с	1 Мбит/с

С увеличением расстояния снижается качество канала связи, что заставляет беспроводные сетевые карты использовать более консервативные методы модуляции, что в свою очередь приводит к уменьшению максимальной скорости передачи данных. Инфраструктурный режим работы обеспечивает более высокие скорости передачи по сравнению с режимом Ad-hoc.

Таким образом, передача собранной информации на наземный пункт управления может быть организован с помощью беспроводной сети по технологии Wi-Fi. В случае, если БПЛА необходимо облетать большие территории, можно использовать технологию 3G/LTE, подключаясь к базовым станциям операторов сотовой связи. Если возле территории мониторинга нет базовой станции или нет подходящего здания, которое можно использовать для наземного пункта обработки информации, то необходимо использовать мобильные базовые станции, построенные на основе автомобилей.

4 РАСЧЕТ ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЯ И АВТОНОМНОЙ РАБОТЫ БПЛА С НЕОБХОДИМЫМ ОБОРУДОВАНИЕМ ДЛЯ МОНИТОРИНГА

Главной проблемой при проектировании беспилотных летательных аппаратов является автономность: сколько времени БПЛА может находиться в воздухе, выполняя свое задание. Время автономной работы зависит от многих факторов: скорость ветра, температура воздуха, вес БПЛА со всем необходимым оборудованием на борту, энергопотребления двигателей, платы управления, подключаемых модулей, скорость полета и др.

Одной из самых важных вещей в БПЛА является двигатель. Есть множество способов конфигурации двигателей: трикоптер, гексакоптер, октокоптер, но самый простой из них в сборке и управлении, это квадрокоптер, то есть мультироторная платформа с четырьмя двигателями. Существует 3 вида электродвигателей: коллекторный, коллекторный с редуктором и бесколлекторный. Первые два обычно используются для небольших беспилотников, взлетающих на небольшую высоту и на недалекие расстояния. Для целей мониторинга подходят бесколлекторные двигатели. Такие двигатели имеют большую подъемную силу, надежны и неприхотливы в обслуживании. Максимальный потребляемый ток может достигать 30 - 40 ампер.

В таблице 4.1 представлены основные комплектующие беспилотного летательного аппарата для мониторинга и обнаружения лесных пожаров.

						Лист
					11070006.11.03.02.689.ПЗВКР	29
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Таблица 4.1 – Основные комплектующие БПЛА

Потребитель	Количество	Общий вес
1	2	3
Двигатель бесколлекторный T-MotorMT2826 760kV	4	440 грамм
Полетный контроллер ArduPilot (GPS)	1	38 грамм
Приемник радиоуправления	1	7 грамм
Видео/фото камера RunCam Eagle 2	1	15 грамм
Датчик газа MQ2 (углеводородные газы, дым)	1	4 грамма
Тепловизор FLIR Boson	1	65 грамм
LTE/GSM модем Huawei E3272	1	35 грамм
Модуль WiFi RE700	1	46 грамм

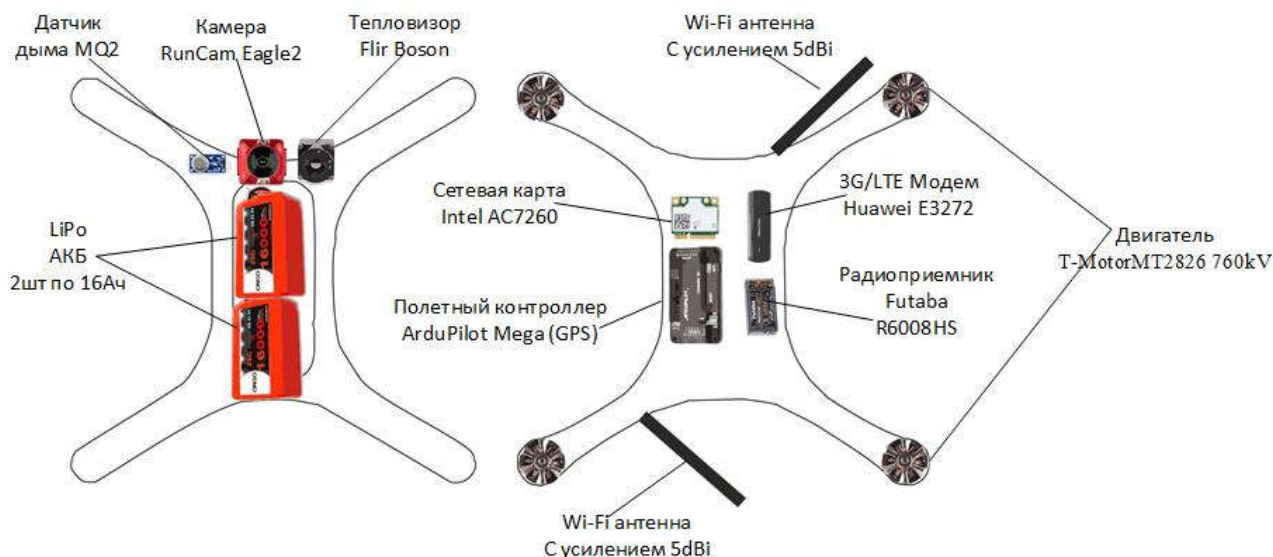


Рисунок 4.1 – Расположение комплектующих на раме квадрокоптера

Важным шагом является правильный выбор рамы для квадрокоптера, так как от этого зависит общий вес и время полета. Для дальних полетов необходимо выбирать большую раму (450-550мм), прочную и легкую. Нельзя использовать рамы из стекловолокна, так как они хоть и очень прочные, но сильно хрупкие и при случайном падении или ударе беспилотника о препятствие рама может легко сломаться. Принято проектное решение использовать раму из карбона (Carbon Fiber). При размере рамы 550мм ее вес составит всего 400 грамм[21].

Для нахождения полетной массы беспилотного летательного аппарата, необходимо прибегнуть к расчетам. Пусть имеется мультироторный 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})[9].

Скорость потока воздуха от аппарата вниз:

$$V_{\text{вн}} = h \times n. \quad (4.1)$$

Масса потока воздуха вниз:

$$M_{\text{вн}} = \pi \times \rho \times r^2 \times h \times n \times k, \quad (4.2)$$

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

Плотность воздуха может быть рассчитана по уравнению Менделеева-Клайперона:

$$\rho = \frac{P\mu}{RT}, \quad (4.3)$$

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 4.3 в 4.2, получаем уравнение для расчета массы воздуха, направляемого винтами вниз:

$$M_{\text{вн}} = \pi \frac{P\mu r^2 h n k}{RT}. \quad (4.4)$$

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:

$$F = Mg = \pi \frac{P\mu r^2 h^2 n^2 k}{RT}, \quad (4.5)$$

где g – ускорение свободного падения – $9,81$ ($\text{м}\cdot\text{с}^{-2}$).

По формуле 4.5 можно вычислить полную массу удерживаемого аппарата:

$$M = \pi \frac{P\mu r^2 h^2 n^2 k}{RTg}, \quad (4.6)$$

Учитывая особенности конструкции мультироторного летательного аппарата, в уравнение (4.6) необходимо ввести дополнительно поправочный безразмерный коэффициент $0 \leq \eta \leq 1$, равный отношению площади работы

						Лист
					11070006.11.03.02.689.ПЗВКР	32
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

воздушного винта с перекрытием деталями конструкции аппарата и полной площади захвата воздушного винта:

$$M = \pi \frac{P\mu r^2 h^2 n^2 k}{RTg} \eta, \quad (4.7)$$

Для квадрокоптера, используемого для мониторинга, можно взять следующие параметры: пропеллер с радиусом 177,8мм, т.е. $r=0,01788$ м и шагом 122 мм, $h = 0,122$ м. Число оборотов пропеллера 7740 об./мин., или $n=129$ с⁻¹. Значение коэффициента η в данном случае составляет 0,9. Число пропеллеров $k=4$. P примем равным 101325 Па (нормальное атмосферное давление); $\mu=28,98 \cdot 10^{-3}$ (усредненная молекулярная масса воздуха); $R=8,31$ (универсальная газовая постоянная); $T=300$ К (средняя температура); $g= 9,81$ (ускорение свободного падения). Подставив все данные в формулу 4.7, получим:

$$M = \pi \frac{101325 \cdot 28,98 \cdot 10^{-3} \cdot (0,01788)^2 \cdot (0,122)^2 \cdot (129)^2 \cdot 4}{8,31 \cdot 300 \cdot 9,81} \cdot 0,9 = 0,107 \text{ кг.}$$

Полная полетная масса составляет сумма всего оборудования, находящегося на беспилотнике и рассчитанный вес по формуле 4.7: $M=0,107$ кг + 1,050 кг = 1,157 кг без батареи.

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

$$A = FS = MgV_{\text{вн}}t = Mghnt, \quad (4.8)$$

а суммарная мощность всех двигателей:

$$N = Mghn. \quad (4.9)$$

					11070006.11.03.02.689.ПЗВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		33

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

$$I = \frac{3600 C}{t}, \quad (4.10)$$

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

$$C = \frac{Mghnt}{3600U\eta_{en}}, \quad (4.11)$$

где η_{en} - коэффициент полезного действия двигательной установки.

Произведем расчет суммарной мощности всех двигателей по формуле 4.9:

$$N = 1.157 * 9,81 * 0,122 * 129 = 178.63 \text{ Ватт.}$$

Далее найдем необходимую емкость батареи, если время висения составляет два часа (7200 с), коэффициент полезного действия двигательной установки $\eta_{en}=0.7$, а напряжение на батарее $U=14.4\text{В}$, что является нормальным напряжением для рабочего режима четырехбаночной литий-полимерной (LiPo) батареи:

$$C = \frac{1,157*9,81*0,122*129*7200}{3600*14,4*0,7} = 35,5 \text{ Ач.}$$

Зная емкость батареи, можно узнать ее вес. Наиболее подходящим по своей емкости является аккумулятор ONBO 32Ач 4S 25С. Его вес составляет около 3 кг. Далее можно узнать реальное время полета беспилотного летательного аппарата, применив формулу 4.12:

						Лист
					11070006.11.03.02.689.ПЗВКР	34
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

$$t = \frac{cUn_{en}}{Mghn} 3600, \quad (4.12)$$

Подставив значения, получим:

$$t = \frac{32 * 14.4 * 0.7}{(1,157 + 3) * 9.81 * 0,122 * 129} 3600 = 1809 \text{ с} = 30,1 \text{ минут}$$

Таким образом, беспилотный летательный аппарат, сможет пролетать расстояние около 15 км без подзарядки. Этого вполне хватит, чтобы делать облет различных территорий, проводя их мониторинг.

Беспилотный летательный аппарат может летать на разных высотах, в зависимости от цели мониторинга. В связи с этим, он будет охватывать разную зону мониторинга. Для расчета зоны охвата камеры воспользуемся формулой 4.13[13]:

$$D = 2 * R * \tan\left(\frac{\alpha}{2}\right), \quad (4.13)$$

где D – охват пространства (линейное поле); R – расстояние от БПЛА до земли; α - угол обзора камеры, который рассчитывается по формуле 4.14:

$$\alpha = 2 * \tan^{-1}\left(\frac{d}{2*f}\right), \quad (4.14)$$

где d – расстояние между крайними точками кадра; f - фокусное расстояние камеры в миллиметрах(2,5мм).

Чтобы рассчитать угол обзора, необходимо найти диагональное расстояние камеры. Известно, что ее горизонтальное разрешение равно 800 ТВЛ, значит разрешение в пикселях составляет 1280x960[13], в миллиметрах - 338,7x254 . Диагональное расстояние найдем через теорему Пифагора 4.15:

$$d = \sqrt{a^2 + b^2} = \sqrt{338,7^2 + 254^2} = 423,3 \text{ мм.} \quad (4.15)$$

В главе 3 проводились расчеты скорости передачи данных при высоте полета 10 и 20 м, значит расчет охвата D будет произведен на таких же высотах. Подставив значения в формулы 4.13 и 4.14 получим:

$$\alpha = 2 * \tan^{-1} \left(\frac{423,3}{2 * 2,5} \right) = 3,1 \text{ радиан} \approx 89,3^\circ; \quad (4.16)$$

$$D = 2 * 10 * \tan \left(\frac{89,3^\circ}{2} \right) = 19,7 \text{ м,} \quad (4.17)$$

$$D = 2 * 20 * \tan \left(\frac{89,3^\circ}{2} \right) = 39,5 \text{ м.} \quad (4.18)$$

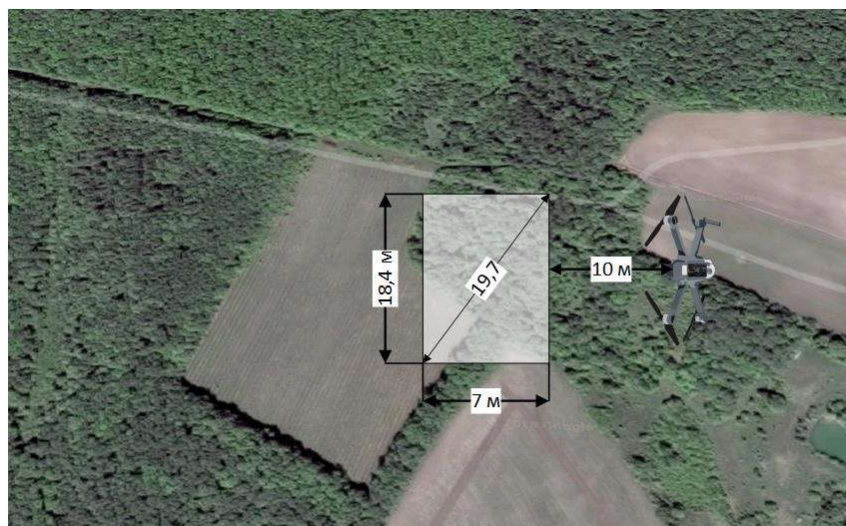


Рисунок 4.2 – Зона охвата территории камерой БПЛА с расстояния 10 м



Рисунок 4.3 – Зона охвата территории камерой БПЛА с расстояния 20 м

						Лист
					11070006.11.03.02.689.ПЗВКР	36
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

5 ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПРОЕКТА

5.1. Расчет капиталовложений

При расчете капиталовложений для реализации проекта, необходимо составить смету на оборудование, покупку программного обеспечения, обучение персонала. Актуальные цены взяты с сайтов: <https://hobbyking.com>, <https://aliexpress.com>, <http://www.parkflyer.ru>, <https://www.nix.ru>, <http://zala.aero>.

Таблица 5.1 – Смета затрат на приобретение оборудования

Наименование	Кол-во единиц	Стоимость (руб)	
		за единицу	всего
Двигатель бесколлекторный T-MotorMT2826 760kV	4	5953	23 812
Полетный контроллер ArduPilot (GPS)	1	2 562	2 562
Приемник радиоправления Futaba R6008HS	1	10 658	10 658
Передатчик радиоправления Futaba 10J	1	15 435	15 435
Видео/фото камера RunCam Eagle 2	1	2 988	2 988
Датчик газа MQ2 (углеводородные газы, дым)	1	650	650
Тепловизор FLIR Boson	1	91 287	91 287
Рама AQ-600 Carbon Fiber Quadcopter Frame 550мм	1	3 457	3 457
LiPo аккумулятор ONBO 16000mAh 4S 25C	2	9 418	18 836
LTE/GSM модем Huawei E3272	1	1 450	1 450
Сетевая карта Intel Dual Band Wireless-AC 7260	1	1 900	1 900
Маршрутизатор ASUS RT-AC87U	1	12 550	12 550
Всенаправленная антенна ZyxEL ANT2105-ZZ0101F	1	3 758	3 758
Программное обеспечение для персонального компьютера, лицензия на 1 год	1	350 000	350 000
Монтажные и пуско-наладочные работы		156 854	156 854
Сертификат на обучение персонала по эксплуатации БПЛА	3	50 000	150 000
Итого:			846 197

Также обязательно нужно учесть такие расходы, как: затраты на транспортные расходы, в том числе и таможенные($K_{тр} - 4\%$ от $K_{об}$); расходы на тару и упаковку ($K_{т/у} - 0,5\%$ от $K_{об}$); заготовительно-складские работы ($K_{зср} - 1,2\%$ от $K_{пр}$); прочие непредвиденные расходы ($K_{нпр} - 3\%$ от $K_{об}$). Исходя из этого, общие капитальные вложения рассчитываются по формуле:

$$KB = K_{об} + K_{об} * (K_{тр} + \frac{K_{т/у}}{у} + K_{зср} + K_{нпр}), \quad (5.1)$$

где $K_{об}$ – итоговая сумма сметы приобретения оборудования.

$$KB = 846197 + 846197 * (0,04 + 0,005 + 0,012 + 0,03) = 919\ 816, \text{ руб}$$

5.2. Калькуляция эксплуатационных расходов

В процессе эксплуатации проекта, возникают расходы на содержание и обслуживания БПЛА и самой сети в целом. Такие расходы имеют текущий характер. К ним относятся:

1. Затраты на оплату труда работникам.
2. Страховые взносы.
3. Амортизация основных фондов.
4. Материальные затраты.
5. Прочие производственные расходы.

Для выполнения задач по развертыванию, настройке сети и мониторинга территорий при чрезвычайных ситуациях требуется как минимум 3 работника.

Таблица 5.2 – Состав персонала по обслуживанию оборудования

Наименование должности	Оклад	Количество, чел.	Сумма з/п, руб.
Ведущий инженер	37 000	1	37 000
Инженер-программист.	26 500	2	53 000
Итого:		3	90 000

Годовой фонд оплаты труда для персонала рассчитывается как:

$$\Phi OT = \sum_{i=1}^K (T * P_i * I_i) * 12, \text{ руб} \quad (5.2)$$

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 $T=1$).

$$\Phi OT = ((37\ 000) + (2 * 26500)) * 12 = 1\ 080\ 000, \text{ руб.} \quad (5.3)$$

Также, каждая организация должна выплачивать страховые взносы на своих сотрудников. Расчет взносов приведен в формуле 5.4:

$$CB = \Phi OT * 0,3, \text{ руб} \quad (5.4)$$

$$CB = 1080000 * 0,3 = 324\ 000, \text{ руб.} \quad (5.5)$$

У каждого оборудования есть свой срок службы, поэтому необходимо постепенно накапливать средства, в целях реконструкции, профилактики и приобретения основных средств. Поэтому требуется делать оценку амортизации по формуле 5.6:

$$AO = T / F, \text{ руб} \quad (5.6)$$

где T – стоимость оборудования, F – срок службы этого оборудования(3 года).

$$AO = \frac{846\ 197}{3} = 282\ 065, \text{ руб.} \quad (5.7)$$

						Лист
					11070006.11.03.02.689.ПЗВКР	39
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Величина материальных затрат включает в себя оплату электроэнергии для производственных нужд, затраты на материалы и запасные части и др. Эти составляющие материальных затрат определяются следующим образом:

а) затраты на оплату электроэнергии определяются в зависимости от мощности сетевого оборудования, устанавливаемого в наземном пункте обработки информации(5.8).

$$Z_{э\text{н}} = T * 24 * 365 * P , \quad (5.8)$$

где Т – тариф на электроэнергию (руб./кВт · час), Р – мощность оборудования (кВт).

Стоит учесть, что плату за электроэнергию необходимо рассчитать не за весь год, так как мониторинг будет проводиться не постоянно из наземного пункта, а еще и с передвижного. Предположим, что 60% времени мониторинг будет производиться из наземной станции. Тогда формула (5.8) примет вид:

$$Z_{э\text{н}} = T * 24 * 365 * P * 0,6. \quad (5.9)$$

Тариф на электроэнергию в Белгородской области составляет 3,74 руб за 1 кВт мощности, мощность оборудования составляет 0,54 кВт. Получаем:

$$Z_{э\text{н}} = 3,74 * 24 * 365 * 0,54 * 0,6 = 10\ 616, \text{руб.} \quad (5.10)$$

б) затраты на материалы и запасные части составляют 3,5% от основных производственных фондов и определяются по формуле:

$$Z_{мз} = KB * 0,035 \quad (5.11)$$

где KB – капитальные вложения, затраты на оборудование.

					11070006.11.03.02.689.ПЗВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		40

Общие материальные затраты равны:

$$Z_{\text{общ}} = Z_{\text{эн}} + Z_{\text{мз}} \quad (5.12)$$

где $Z_{\text{эн}}$ – затраты на оплату электроэнергии; $Z_{\text{м}}$ – материальные затраты.

$$Z_{\text{общ}} = 10616 + 919816 * 0,035 = 42809, \text{руб} \quad (5.13)$$

Прочие расходы предусматривают общие производственные ($Z_{\text{пр}}$) и эксплуатационно-хозяйственные затраты ($Z_{\text{эк}}$):

$$Z_{\text{пр}} = \text{ФОТ} * 0,15 = 1080000 * 0,15 = 162\ 000, \quad (5.14)$$

$$Z_{\text{пр}} = \text{ФОТ} * 0,25 = 1080000 * 0,25 = 270\ 000, \quad (5.15)$$

где ФОТ – годовой фонд оплаты труда.

Размеры ежегодной платы для радиотехнологий устанавливаются применительно к каждой полосе радиочастот, выделенной решением ГКРЧ и (или) указанной в лицензии по каждому субъекту (части субъекта) Российской Федерации, указанному в решении ГКРЧ или лицензии, для иных технологий - применительно к каждому разрешению, и рассчитываются по следующей формуле:

$$P_{\Gamma} = C_{\Gamma} * K_{\text{ДИАП}} * K_{\text{РЧ}} * K_{\text{ТЕХ}} , \quad (5.16)$$

$P_{\Gamma(\text{КВ})}$ - размер ежегодной платы;

C_{Γ} - ставка ежегодной платы, руб.;

$K_{\text{ДИАП}}$ - коэффициент, учитывающий используемый диапазон радиочастот;

$K_{\text{РЧ}}$ - коэффициент, учитывающий количество используемых радиочастот

						Лист
					11070006.11.03.02.689.ПЗВКР	41
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

(радиочастотных каналов);

$K_{ТЕХ}$ - коэффициент, учитывающий технологию, применяемую при использовании радиочастотного спектра;

Все данные берем из методики расчета ежегодной оплаты за использование радиочастотного спектра []. Подставив все значения в формулу 5.16 получаем:

$$P_{Г} = 1400 * 1 * 3 * 0,1 = 420, \text{руб} \quad (5.17)$$

Теперь все рассчитанные расходы можно внести в таблицу 5.3.

Таблица 5.3 – Годовые эксплуатационные расходы

Наименование затрат	Сумма затрат, руб.	Удельный вес статей, %
1. ФОТ	1 080 000	50
2. Страховые взносы	324 000	15
3. Амортизационные отчисления	282 065	13
4. Материальные затраты	42 809	2
5. Прочие расходы	432 000	21
6. Ежегодная оплата использования радиочастот	420	1
ИТОГО	2 161 294	100

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

Система мониторинга включает в себя два основных устройства, одним из которых является сам беспилотник, другим наземный пункт обработки информации и управления. Работой с устройством на наземной станции занимается оператор. Данная работа сопровождается рядом факторов, которые могут представлять опасность для оператора. Основной его задачей является контроль процесса мониторинга, а именно: управления БПЛА, обработку получаемых данных, работы автоматического программного обеспечения и получение данных телеметрии. Основным инструментом работы оператора используется персональный компьютер, пульт управления.

К основным источникам опасности и вреда системы для оператора относятся:

В формулировке ГОСТ 12.0.003-2015 «Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Опасные и вредные производственные факторы. Классификация»[4]:

«ж) опасные и вредные производственные факторы, связанные с акустическими колебаниями в производственной среде и характеризующиеся;

- 1) повышенным уровнем и другими неблагоприятными характеристиками шума;
- 2) повышенным уровнем инфразвуковых колебаний (инфразвука);
- 3) повышенным уровнем ультразвуковых колебаний (воздушного и контактного ультразвука);

и) опасные и вредные производственные факторы, связанные с электрическим током, вызываемым разницей электрических потенциалов, под действие которого попадает работающий, включая действие молнии и высоковольтного разряда в виде дуги, а также электрического разряда живых организмов;

					11070006.11.03.02.689.ПЗВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		43

к) опасные и вредные производственные факторы, связанные с электромагнитными полями, неионизирующими ткани тела человека:

1) постоянного характера, связанного с:

- повышенным образованием электростатических зарядов;
- наличием электростатического поля, чрезмерно отличающегося от поля Земли;
- наличием постоянного магнитного поля, чрезмерно отличающегося от геомагнитного поля Земли;

2) переменного характера, связанного с:

- наличием электромагнитных полей промышленных частот (порядка 50-60 Гц);
- наличием электромагнитных полей радиочастотного диапазона; Опасные и вредные производственные факторы, обладающие свойствами психофизиологического воздействия на организм человека, подразделяют:
- на физические перегрузки, связанные с тяжестью трудового процесса;
- нервно-психические перегрузки, связанные с напряженностью трудового процесса.

6.2 Физические перегрузки подразделяют:

- на статические, связанные с рабочей позой;
- динамические нагрузки, связанные с массой поднимаемого и перемещаемого вручную груза;
- динамические нагрузки, связанные с повторением стереотипных рабочих движений.

8.3 Физические перегрузки организма работающего, связанные с тяжестью трудового процесса, в целях оценки условий труда, разработки и принятия мероприятий по их улучшению характеризуются такими показателями, как:

						Лист
					11070006.11.03.02.689.ПЗВКР	44
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

- физическая динамическая нагрузка:
- масса поднимаемого и перемещаемого груза вручную: • стереотипные рабочие движения;
- статическая нагрузка;
- рабочая поза;
- наклоны корпуса тела работника;
- перемещение в пространстве.

8.4 Нервно-психические перегрузки подразделяют:

- на умственное перенапряжение, в том числе вызванное информационной нагрузкой;
- перенапряжение анализаторов, в том числе вызванное информационной нагрузкой;
- монотонность труда, вызывающая монотонию;
- эмоциональные перегрузки.

8.5 Нервно-психические перегрузки организма работающего, связанные с напряженностью трудового процесса, в целях оценки условий труда, разработки и принятия мероприятий по их улучшению характеризуются такими показателями, как:

- длительность сосредоточенного наблюдения;
- активное наблюдение за ходом производственного процесса;
- число производственных объектов одновременного наблюдения;
- плотность сигналов (световых, звуковых) и сообщений в единицу времени;
- нагрузка на слуховой анализатор;
- нагрузка на голосовой аппарат;
- работа с оптическими приборами и др.»

Как любое электронное устройство, система мониторинга имеет шанс

						Лист
						45
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	11070006.11.03.02.689.ПЗВКР	

поражения электрическим током. Оно может быть вызвано прямым или косвенным соприкосновением с токоведущими деталями, находящимися под напряжением. Возможность поражения скоплением статического электричества, что приводит к сбою сердечных ритмов в работе сердца, а также к депрессии, аритмии, психическим заболеваниям и т. д.

В рабочих помещениях нередким является акустический шум. Вентиляторы, предназначенные для охлаждения аппаратуры, электромоторы, дизельные установки и работающая радиоаппаратура. Шумовое воздействие может привести к следующим процессам: ослабление внимания, повреждение слуха, утомляемость, стресс и т.д. Вибрации могут вызвать расстройства неврологического характера, сердечнососудистые и некоторые другие заболевания.

Статические физические нагрузки, вызванные длительной работой за персональным компьютером, могут привести к ухудшению кровообращения, развитию заболеваний нервной и мышечной системы. В некоторых случаях длительная статическая нагрузка может вызвать сердечно-сосудистые заболевания.

Длительная работа оператора приводит к напряжению ряда психических функций: реакции, зрительного анализатора и внимания.

Подобная длительная работа может привести к переутомлению, головным болям или даже стрессу.

Требования по ограничению вредных физических факторов приведены в СанПиН 2.2.4.3359-16[3].

Для того, чтобы избежать короткого замыкания, а значит, возникновения пожара и получения травмы в связи с поражением электрическим током, помещения, где размещаются рабочие места с компьютерами, должны быть оборудованы защитным заземлением в соответствии с техническими требованиями по эксплуатации (согласно п. 3.7 СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03).

						Лист
					11070006.11.03.02.689.ПЗВКР	46
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Рабочее место должно быть организовано согласно п. 9.3 СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03. Оптимальными размерами поверхности рабочего стола для компьютеров принимают: ширину – от 80 до 140 см, глубину – 80 и 100 см при нерегулируемой его высоте, равной 72.5 см. Монитор на столе нужно располагать на расстоянии 60 – 70 см от глаз оператора, но не ближе 50 см с учетом формата и размеров алфавитно-цифровых знаков и символов. Клавиатуру следует располагать на поверхности стола на расстоянии 10 – 30 см от края, обращенного к пользователю, или на специальной, регулируемой по высоте рабочей поверхности, отделенной от основной столешницы.

Принимая во внимание СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 уровень звука на рабочем месте оператора ПЭВМ не должен превышать 50 дБА, а в помещениях, где размещаются шумовые аппараты – не более 75 дБА. Для его уменьшения стены помещения покрывают звукопоглощающим материалом, либо специальным звукопоглощающим покрытием. Уровень вибрации можно уменьшить путем установки оборудования на виброизолирующую поверхность. Также необходимо размещение в специально отведенных местах генераторов ВЧ, УВЧ, теле и радиопередатчиков, генераторных устройств.

Для предупреждения преждевременной утомляемости пользователей компьютеров, опираясь на п. 1.3 приложения 7 к СанПиНу 2.2.2/2.4.1340-03, рекомендуется организовывать рабочую смену путем чередования работы с использованием персонального компьютера и без него. Рекомендуется организовывать перерывы на временной промежуток 10 – 15 минут через каждые 45 – 60 минут работы. Во время перерывов и во время рабочего процесса при появлении начальных признаков усталости следует выполнять физические упражнения в течении 1 – 2 минут для снижения нервно-эмоционального напряжения, устранения влияния гиподинамии и гипокинезии. Они различны по содержанию и предназначены для конкретного воздействия на ту или иную группу мышц (например, для общего воздействия, улучшения мозгового кровообращения, снятия утомления с плечевого пояса и

						Лист
					11070006.11.03.02.689.ПЗВКР	47
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

рук и др.).

Также положительно может сказаться проветривание помещения во время каждого перерыва.

В зависимости от категории трудовой деятельности и уровня нагрузки за рабочую смену при работе за персональным компьютером продолжительность перерывов может варьироваться от 50 до 90 минут (при 8 часовой смене) и от 80 до 140 мин (при 12 часовой смене).

						Лист
						48
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	11070006.11.03.02.689.ПЗВКР	

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате выполнения выпускной квалификационной работы был разработан проект сети мониторинга чрезвычайных ситуаций на основе беспилотных летательных аппаратов.

Проанализировав современные виды и способы мониторинга чрезвычайных ситуаций, был сделан вывод, что в настоящее время мониторинг лесных пожаров, поиск людей, поиск потенциальных угроз для здоровья и жизни человека очень затруднен в связи с отсутствием технических средств. Те технологии, которые применяются, уже давно устарели и дороги в использовании и обслуживании.

В результате было предложено использование небольших БПЛА – квадрокоптеров, в целях мониторинга чрезвычайных ситуаций. Данные БПЛА имеют относительно невысокую стоимость, просты в обслуживании и настройке, не требуют специальных навыков при работе с ними. Также они очень универсальны, за небольшой промежуток времени можно изменить конфигурацию под определенные нужды.

При проектировании были выбраны две беспроводные сети: LTE/3G и Wi-Fi. Это объясняется тем, что БПЛА, совершая облет необходимой территории, может улетать на большие расстояния. Тогда целесообразно применять технологию LTE/3G с ячеистой топологией и с использованием базовых станций мобильных операторов связи. Если облет совершается на небольшое расстояние, то необходимо использовать технологию Wi-Fi с топологией точка-точка.

В результате расчетов технико-экономических показателей, были получены следующие цифры: необходимые капиталовложения в проект составляют 899 342 рублей, а ежегодные эксплуатационные расходы - 2 154 300 рублей.

Все поставленные в выпускной квалификационной работе задачи выполнены в полном объеме.

					11070006.11.03.02.689.ПЗВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		49

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Ватаманюк, А. И. Беспроводная сеть своими руками [текст] / А.И. Ватаманюк. - М.: Книга по Требованию, 2011. - 194 с.
2. Воропаев, Н.П. Применение беспилотных летательных аппаратов в интересах МЧС России [текст] / Н.П. Воропаев // Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России. – 2014
3. Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы. СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03, Москва, 2003.
4. ГОСТ 12.0.003-2015 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Опасные и вредные производственные факторы. Классификация [Электронный ресурс] // Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации / Режим доступа - URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200136071> (Дата обращения 17.05.2018)
5. Исследование возможности применения БПЛА как мобильного шлюза летающей сенсорной сети для наземных автономных сенсорных сетей [текст] / А.Д. Вырелкин, А.И. Выборнова, А.Е. Кучерявый // Информационные технологии и телекоммуникации. – 2016.- Т 4. №1.С.29-36
6. Комяк, В. А. Инструментальное обнаружение лесных пожаров и прогноз их распространения пространственных данных [Электронный ресурс] / В.А. Комяк//pryroda.gov.ua / Режим доступа - URL: <http://www.pryroda.gov.ua/ua/index.php?newsid=842> (Дата обращения: 13.04.2018)
7. Кучерявый, А. Е. Летающие сенсорные сети [текст] /А.Е. Кучерявый, А.Г. Владыко, Р.В. Киричек, А.И. Парамонов, А.В. Прокопьев, И.А. Богданов, А.А. Дорт-Гольц // Электросвязь. - 2014. № 9. С. 2-5.
8. Кучерявый, А. Е. Сети связи общего пользования. Тенденции развития и методы расчёта[текст] / А.Е. Кучерявый, А.И. Парамонов, Е.А. Кучерявый// М. : ФГУП ЦНИИС, 2008. 296 с.

						Лист
					11070006.11.03.02.689.ПЗВКР	50
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

9. Математические модели для инженерных расчетов летательных аппаратов мультироторного типа (часть 1) [текст] / А.А. Арзамасцев, А.А. Крючков. // Вестник ТГУ. – 2014.Т 19, вып.6

10. Организация мониторинга и прогнозирования чрезвычайных ситуаций [текст] / С.В. Горбунов, С.Н. Грязнов, А.В. Ильков, В.П.Малышев, М.В. Пучков //Стратегия гражданской защиты: проблемы и исследования. – 2015. – Т 5.№2(9)

11. Применение беспилотных летательных аппаратов при разведке труднодоступных и масштабных зон чрезвычайных ситуаций [текст] / Янников И.М., Фомин П.М., Габричидзе Т.Г., Захаров А.В. // Вектор науки ТГУ. – 2012. -№3(21)

12. Пучкова, В.А. Современные системы мониторинга и прогнозирования чрезвычайных ситуаций [текст] / В.А. Пучкова // МЧС России. М.:ФКУ ЦСИ ГЗ МЧС России. - 2013. -352с.

13. Расчет угла изображения [Электронный ресурс] / Сайт Василия Андреева о фотографии // Режим доступа – URL: <https://vasili-photo.com/articles/angle-of-view.html> (Дата обращения 28.05.2018)

14. Соболев Б.В. Сети и телекоммуникации : учебное пособие [текст] / Б.В. Соболев, А.А. Манин, М.С. Герасименко// Изд.: Феникс, 2015г. 191с.

15. Сотовая связь хоть в тайге: три поколения передвижных базовых станций [Электронный ресурс] / Статья о передвижных базовых станциях компании Мегафон // Режим доступа – URL: <https://habr.com/company/megafon/blog/328446/> (Дата обращения: 05.05.2018)

16. Тихвинский, В.О., Сети мобильной связи LTE: технологии и архитектура [текст] / В.О. Тихвинский, С.В. Терентьев, А.Б. Юрчук. // М.: Эко-Трендз . - 2010. - 284 с

17. Характеристики Wi-Fi маршрутизатора ASUS RT-AC87U [Электронный ресурс] / Режим доступа URL:https://www.nix.ru/autocatalog/wireless_asus/ASUS-RT-AC87U-Dual-Band-

Gigabit-Router-4UTP-1000Mbps-WAN-80211a-b-g-n-ac-17Gbps-USB20-30_203794.html (Дата обращения 15.05.2018)

18. Характеристики бесколлекторного двигателя T-MotorMT2826 760kV [Электронный ресурс]/ Режим доступа- URL: <https://ru.aliexpress.com/item/Tiger-Motor-T-motor-MT2826-380-550-760KV/32410035735.html#!> (дата обращения 28.04.2018)

19. Характеристики полетного контроллера ArduPilot Mega(GPS) [Электронный ресурс] / Режим доступа- URL: <http://www.parkflyer.ru/ru/product/1912865/> (Дата обращения 14.05.2018)

20. Характеристики радиопередатчика и радиоприемника управления Futaba 10J [Электронный ресурс] / Режим доступа – URL: <https://www.futabarc.com/systems/futk9200-10j/index.html> (Дата обращения 17.04.2018)

21. Характеристики тепловизора Flir Boson [электронный ресурс] / Режим доступа - URL: <http://www.oemcameras.com/flir-boson-320x256-no-lens.htm> (Дата обращения 01.05.2018)

22. Хоббикинг: радиоуправляемые самолеты, квадрокоптеры, вертолеты, автомобили и аксессуары к ним [Электронный ресурс] // Сайт с готовыми радиоуправляемыми моделями и запчастями к ним / Режим доступа - URL: <http://www.hobbyking.com> (Дата обращения 02.05.2018)

						Лист
					11070006.11.03.02.689.ПЗВКР	52
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		