МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РФ

ФГБОУ ВО «РГРТУ»

Кафедра ТОР

Научно-исследовательская работа на тему

«Технологии беспроводных сетей передачи данных: Bluetooth/BLE, Wi-Fi, ZigBee»

Выполнил:

студент 519 группы

Карев А.А.

Руководитель:

доцент кафедры ТОР

Бакке А.В.

г. Рязань, 2019 г.

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ**

**РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение**

**высшего образования**

**«Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина»**

**Кафедра телекоммуникаций и основ радиотехники**

 «Утверждаю»

 Заведующий кафедрой ТОР

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ В.В. Витязев

«\_\_\_» \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ 2019г.

**ЗАДАНИЕ НА НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКУЮ РАБОТУ**

Студенту \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

(Ф.И.О. студента)

Направление подготовки\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

Направленность \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

Трудоемкость практики – 2 недели, 108 часов

Научный руководитель \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

(Ф.И.О. должность, ученое звание)

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **№ п\п** | **Планируемые формы работы** | **Количество часов** | **Сроки проведения планируемой работы** |
| 1. | Производственный инструктаж по ТБ в научных подразделениях | 1 час. | В течение первых дней практики |
| 2. | Ознакомление со структурой объекта практики, основными документами, определяющими его научную деятельность, и материально-технической базой | 6 час. | В течение 1-й недели |
| 3. | Изучение основных направлений и результатов научной деятельности | 8 час. | В течение 1-й недели |
| 4. | Ознакомление с перспективами развития научных исследований на объекте практики | 5 час. | В течение 1-й недели |
| 5. | Ознакомление с процедурой защиты | 4 час. | В течение 1-й недели |
| 6. | Ознакомление с типовыми научными методиками, технологиями их применения и способами обработки результатов научных исследований | 14 час. | В течение всей практики |
| 7. | Разработка программы и содержания научных исследований | 8 час. | В течение всей практики |
| 8. | Участие в проведении НИР по индивидуальной программе | 35 час. | В течение всей практики |
| 9. | Обработка результатов научных исследований | 15 час. | По окончании практики |
| 10. | Подготовка материалов для научной статьи (доклада) | 7 час. | По окончании практики |
| 11. | Подготовка отчетов | 5 час. | По окончании практики |

Студент \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_/ \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_Ф.И.О.

Научный руководитель \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_/\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_Ф.И.О.

**Содержание.**

1. Введение………………………………………………………………………4

2. История беспроводных сетей передачи данных……………………………4

3. Bluetooth как спецификация беспроводных персональных сетей…………5

4. Беспроводная технология Bluetooth с низким энергопотреблением………8

5. Технология беспроводной локальной сети с устройствами на основе стандартов IEEE 802.11 (Wi-Fi)……………...………………………………….9

6. Сети внутриофисного и домашнего применения стандарта 802.15.4 ZigBee…………………………………………………………………………….12

7. Выбор спецификации для макетной части ВКР…………………………….16

8. Список используемых источников…………………………………………..17

**Введение.**

Тема моей выпускной квалификационной работы – «Радиотерминал беспроводного управления подвижным объектом», поэтому в рамках научно-исследовательской работы необходимо ознакомиться с основными радиоинтерфейсами беспроводных сетей передачи данных. Полученные знания о спецификациях позволят повысить компетентность в теме интерфейсов беспроводных сетей и определиться с какой технологией будет продолжена работа в макетной части ВКР.

**История беспроводных сетей передачи данных.**

Персональные беспроводные сети передачи данных стали появляться в середине 90-х годов. К концу 90-х годов развитие микроэлектроники позволило производить для таких устройств интегральную элементную базу. Открывшиеся перспективы привели к тому, что практиче­ски одновременно появилось сразу несколько разработок персональных беспроводных сетей передачи информации, основные из которых - это спецификации HomeRF, стандарты семейства IEEE 802.15 (Bluetooth и IEEE 802.15.3/4), а также технологии сверхширокополосной связи (UWB).

HomeRF - это название созданной в марте 1998 года группы производителей компьютерного и бытового оборудования (Home Radio Frequency Working Group; в первый год существования в нее вошло свыше 90 фирм, включая Intel, Compaq, Ericsson, Hewlett-Packard и Microsoft). Она организовывалась для разработки от­крытого протокола распределенного беспроводного доступа SWAP (Shared Wire­less Access Protocol), который должен был лечь в основу радиосети HomeRF. Впоследствии вместо понятия SWAP в названии спецификации стали использо­вать HomeRF. Первая версия спецификации HomeRF появилась 17 декабря 1998 года, последняя (HomeRF 2.01) - 1 июля 2002 года. На этом цели рабочей группы были выполнены, и в январе 2003 года она была расформирована.

Как следует из названия, стандарт HomeRF задумывался как беспроводная домашняя сеть передачи информации,аналог известной к тому времени проводной Ethernet-подобной сети HomePNA (Home Phone Line Networking Alliance), в качестве носителя использовавшей уже проложенную телефонную линию. Для нормальной работы сети HomeRF необходим host-компьютер (или устройство, выполняющее его функции).

Именно с HomeRF началось развитие платформ радиодоступа для персональных сетей. На сегодняшний момент можно выделить несколько основных спецификаций за которыми стоит самое ближайшее будущее развития беспроводных локальных сетей. К ним относятся разработки на основе стандартов института инженеров электротехники и электроники (IEEE) – Bluetooth, Bluetooth Low Energy (BLE), ZigBee, Wi-Fi. [1]

**Bluetooth как спецификация беспроводных персональных сетей.**

Система Bluetooth появилась в результате работы специальной группы Bluetooth Special Interest Group, образованной шведской компанией Ericsson в 1998 году. Позднее к группе присоединились другие известные компании, такие как IBM, Intel, Nokia, Sony, Toshiba. В 2000 году между IEEE и Bluetooth SIG было достигнуто соглашение об идентификации стандарта Bluetooth как спецификации IEEE 802.15.1. Целью разработки стал единый стандарт для организации пика-сетей (радиусом до 50 м). Bluetooth стал новый радиоинтерфейсом, предназначенным для пакетной и потоковой передачи данных с использованием множественного доступа с разделением по времени (TDMA). Bluetooth предоставляет логические топологии в виде конфигураций «точка-точка» и «точка-многоточка». Радиосвязь по Bluetooth осуществляется в диапазоне 2,402-2,48 ГГц, который называется ISM-диапазоном (Industry, Science and Medicine) и является свободным от лицензирования.

В такой пика-сети бывает два типа устройств: терминал-мастер и терминал-подчиненный. Терминал-мастер – устройство, которое образовало сеть. Мастер обязан передавать широковещательный сигнал для того, чтобы уведомить окружающих о том, что он является мастером. Подчиненные терминалы – те, которые присоединились к сети. Они находятся в состоянии прослушивания широковещательного сигнала, осуществляя тем самым поиск терминала-мастера. В Bluetooth может быть не более 8 активных терминалов (7 подчиненных и 1 мастер) и до 256 неактивных терминалов.

С целью повышения устойчивости к помехам, а также практически неограниченного кол-ва физических каналов, в Bluetooth используется метод расширения спектра со скачкообразной перестройкой частоты (FHSS, Frequency Hopping Spread Spectrum). Весь выделенный частотный диапазон разбит на частотные каналы. Расстояние между каналами – 140-175 кГц, а ширина канала – 1 МГц. Согласно алгоритму FHSS, в Bluetooth несущая частота сигнала скачкообразно меняется 1600 раз в секунду. Постоянное чередование частот позволяет транслировать информацию по всему диапазону ISM, избегать воздействия помех со стороны устройств, работающих в том же диапазоне частот. Если канал зашумлен, то система переходит на другой. Это будет происходить до тех пор, пока не обнаружится канал, свободных от помех.



Рис. 1 Частотно-временная диаграмма работы модулей Bluetooth.

На рис. 1 представлена частотно-временная плоскость, показывающая работу трех Bluetooth- модулей одновременно. Модули работают тактами (слотами), длительностью 625 мкс. Каждому модулю в пределах каждого такта будет назначен соответствующий частотный канал и режим передачи или приема. Технология Bluetooth предполагает два вида связи: синхронную (SCO, Synchronous Connection Oriented) и асинхронную (ACL, Asynchronous Connectionless). SCO рассчитан на установление соединения «точка-точка» и служит преимущественно для передачи речевых сообщений в масштабе реального времени. Каждое соединение SCO требует резервирование FH каналов в прямом и обратном направлении. Скорость передачи информации SCO равна 64 Кбит/с. ACL предназначен для пакетной передачи данных и поддерживает симметричные и асимметричные соединения типа «точка-многоточка». Терминал-подчиненный имеет право на передачу исключительно по факту обращения к нему терминала-мастера. [2]

На данный момент разработано 5 поколений спецификации. Развитие Bluetooth позволяет увеличивать скорость передачи данных и кол-во используемых одновременно активных устройств, а также улучшать энергоэффективность.

**Беспроводная технология Bluetooth с низким энергопотреблением.**

Технология Bluetooth получила широкое распространение в мире, предоставляя возможность обслуживания беспроводных устройств на малых расстояниях. Данная технология является относительно низкоскоростной, но энергетически выгодной с точки зрения различных приложений. В процессе развития технологий появилось понятие «сенсорная сеть». Это распределенная самоконфигурируемая беспроводная сеть, состоящая из малогабаритных интеллектуальных сенсорных устройств. Такие сети применяются для сбора, обработки и передачи информации с высокими требованиями по автономности, надежности, масштабируемости и распределенности сети. В ходе эксплуатации спецификации Bluetooth был выявлен основной недостаток технологии по отношению к применению в сенсорных сетях – высокое энергопотребление.

Это обстоятельство стало причиной разработки новой спецификации Bluetooth. В декабре 2009 года была выпущена версия спецификации ядра технологии Bluetooth, достоинством которой является сверхмалое энергопотребление. Новая спецификация Bluetooth получила приставку Low Energy (BLE). Данная технология стала широко использоваться в системах сбора данных и удаленного мониторинга устройств с автономным питанием. Первым коммерческим устройством, включающим в себя данную технологию, был iPhone 4S, выпущенный в октябре 2011 года.

К основам BLE можно отнести применение клиент-серверной модели взаимодействия узлов, в которой сервер– устройство, которое предоставляет данные, а клиент – тот, кому данные нужны (запрашивает данные). Таким образом, устройство BLE может быть либо клиентом, либо сервером. Если узел предназначен для предоставления функциональности, то это сервер. Клиент же использует состояния сервера для чтения или записи данных: считывая показания температуры или передавая на сервер команду для выполнения какого-либо действия.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Техническая спецификация** | **Классический Bluetooth** | **BLE** |
| Радиочастота | 2.4 ГГц | 2.4 ГГц |
| Расстояние | 100 м | >100 м |
| Скорость передачи данных по воздуху | 1-3 Мб/с | 1 Мб/с |
| Пропускная способность | 0.7-2.1 Mб/s | 0.27 Mб/s |
| Ведомые устройства | 7 |  |
| Минимальное общее время передачи данных (зависит от состояния батареи) | 100 мс | 3 мс |
| Потребляемая мощность | 1 Вт в качестве исходной | От 0,01 Вт до 0,5 Вт |
| Максимально потребляемый ток | <30 мА | <15 мА |

Таблица 1. Сравнение некоторых характеристик классического Bluetooth и Bluetooth Low Energy. [3]

**Технология беспроводной локальной сети с устройствами на основе стандартов IEEE 802.11 (Wi-Fi).**

Под аббревиатурой Wi-Fi (от английского словосочетания Wireless Fidelity, которое можно дословно перевести как «беспроводная привязанность») в настоящее время развивается целое семейство стандартов передачи цифровых потоков данных по радиоканалам. Wi-Fi, как и Bluetooth, работает в безлицензионном частотном диапазоне ISM, а также в нелизецнзируемом диапазоне для национальной информационной инфраструктуры UNII (5,15-5,825 ГГц). Любое оборудование, соответствующее стандарту IEEE 802.11, может быть протестировано в Wi-Fi Alliance и получить соответствующий сертификат и право нанесения логотипа Wi-Fi. [4]

Wi-Fi был создан в 1998г. в Автралии в лаборатории радиоастраномии инженером Джоном О’Салливаном. На данный момент существует 18 поколений Wi-Fi начиная с первого - 802.11a (макс. скорость передачи до 54 Мбит/с) используемом в 1999 году и заканчивая новейшим стандартом - 802.11ax. Окончательный текст стандартизации IEEE 802.11ax должен быть опубликован в 2019 году. На выставке CES 2018 были представлены устройства, продемонстрировавшие максимальную скорость до 11 Гбит/с.

Схема сети Wi-Fi содержит не менее одной точки доступа и не менее одного клиента. Также возможно подключение двух клиентов в режиме точка-точка (Ad-Hoc), когда точка доступа не используется, а клиенты соединяются посредством сетевых адаптеров «напрямую». Точка доступа передаёт свой идентификатор сети (SSID) с помощью специальных сигнальных пакетов на скорости 0,1 Мбит/с каждые 100 мс. Поэтому 0,1 Мбит/с — наименьшая скорость передачи данных для Wi-Fi. Зная SSID сети, клиент может выяснить, возможно ли подключение к данной точке доступа. При попадании в зону действия двух точек доступа с идентичными SSID приёмник может выбирать между ними на основании данных об уровне сигнала.

Стандарт не описывает всех аспектов построения беспроводных локальных сетей Wi-Fi. Поэтому каждый производитель оборудования решает эту задачу по-своему, применяя те подходы, которые он считает наилучшими с той или иной точки зрения. Поэтому возникает необходимость классификации способов построения беспроводных локальных сетей.

1. По способу объединения точек доступа в единую систему можно выделить: автономные точки доступа (называются также самостоятельные, децентрализованные, умные); точки доступа, работающие под управлением контроллера (называются также «легковесные», централизованные); бесконтроллерные, но не автономные (управляемые без контроллера)

2. По способу организации и управления радиоканалами можно выделить беспроводные локальные сети: со статическими настройками радиоканалов; с динамическими (адаптивными) настройками радиоканалов; со «слоистой» или многослойной структурой радиоканалов.

В наши дни технология Wi-Fi позволяет осуществлять доступ к сети «Интернет» в своей квартире/доме любому частному пользователю с помощью Wi-Fi роутера. Оснастить Wi-Fi модулем можно любую современную электронику, будь то компьютер, телевизор или чайник, после чего при наличии маршрутизатора и пульта управления ей можно будет управлять дистанционно, расширив ее возможности.

В общественных заведениях Wi-Fi также используется почти повсеместно. Подключиться к Интернету при помощи своего ноутбука, планшетного ПК или смартфона можно практически в любом ресторане, баре, кафе, ТРК, гостинице. Точки доступа Wi-Fi сегодня также работают во многих библиотеках, ПКиО и вокзалах. Это делает пребывание пользователя в общественном месте более комфортным и продолжительным.

Юридические лица тоже используют достоинства подключения Wi-Fi в своих целях. Установив мощную точку доступа к беспроводной сети с расширенной зоной покрытия, можно дополнить стационарное подключение к Всемирной паутине или даже вовсе его заменить. И чем больше у сотрудников фирмы ноутбуков и других переносных технических устройств, тем целесообразнее использование технологии.

Тем не менее, сферы применения Wi-Fi не ограничиваются вышеперечисленными местами. В настоящее время благодаря дешевизне радиотерминалов беспроводной передачи данных по Wi-Fi, технология широко применима в сенсорных сетях, интернете вещей (IoT), умных домах.

**Сети внутриофисного и домашнего применения стандарта 802.15.4 ZigBee.**

ZigBee – это стандарт беспроводной связи, подобный Wi-Fi и Bluetooth, но созданный специально для интернета вещей и умного дома. Благодаря протоколу ZigBee устройства в умном доме “общаются” друг с другом.

Существующие стандарты беспроводных сетей, например, Wi-Fi и Bluetooth, не подходили для новых возникших потребностей – таких, как умный дом. Эти стандарты были недостаточно надёжны, а их модули были слишком дорогими. Для разработки нового сетевого протокола была создана ассоциация из ведущих технологических компаний (Philips, Samsung, LG, Siemens и другие) под названием ZigBee Alliance. И в 2004 году был принят международный стандарт, регламентирующий новый протокол ZigBee. Основная особенность технологии ZigBee заключается в том, что она при малом энергопотреблении поддерживает не только простые топологии сети («точка-точка», «дерево» и «звезда»), но и самоорганизующуюся и самовосстанавливающуюся ячеистую (mesh) топологию с ретрансляцией и маршрутизацией сообщений. В такой сети, каждое устройство может связываться с любым другим устройством как напрямую, так и через промежуточные узлы сети. Название ZigBee происходит от слов “зигзаг” (zigzag) и “пчела” (bee), на западе термином “зигби” называют танец медовых пчёл. Такое название по мнению разработчиков стандарта подчёркивает то, что сеть ZigBee имеет ячеистую топологию (структуру) и, благодаря специальным алгоритмам маршрутизации, является надёжной и способной к самовосстановлению при потере связи между отдельными узлами. При этом оборудование для ZigBee компактное и имеет низкую стоимость. Спецификация ZigBee предназначена для приложений, требующих гарантированной безопасной передачи данных при относительно небольших скоростях и возможности длительной работы сетевых устройств от автономных источников питания (батарей). [5]

Стандарт IEEE 802.15.4 использует под обмен данными 27 каналов в 3-х диапазонах частот (868 двоичную фазовую манипуляцию (BPSK) на частотах 868/915 МГц и квадратичную фазовую манипуляцию со смещением (O-QPSK) на частоте 2,4 ГГц). В связи с этим данный стандарт может получить лицензию на территории большинства стран (общеизвестно, что диапазоны, доступные для гражданского использования, разделяются в соответствии с взглядами правительств на данный вопрос), а также реализовать оптимальную передачу сигнала в любых условиях. В России функционирование сетей ZigBee в частотном диапазоне 2405-2485 МГц не требует получения частотных разрешений и других согласований. [6] Наивысшая помехоустойчивость достигаются в диапазоне 2,4 ГГц.  Максимальная скорость передачи данных в этом диапазоне равна 250 Кбит/с (в других диапазонах она значительно ниже), а мощность устройств не должна быть больше 10 мВт на открытой территории и 100 мВт в зданиях. При этом средняя пропускная способность узла для полезных данных в зависимости от загруженности сети и количества ретрансляций может лежать в пределах 5- 40 Кбит/с.

В сети ZigBee существует 4 типа узлов: координатор, роутер, спящее устройство и мобильное устройство.

Главное устройство в ZigBee-сети - это координатор. Координатор выполняет функции по формированию сети, а также является одновременно доверительным центром (trust-центром). Доверительный центр устанавливает политику безопасности и задает настройки во время подключения устройства к сети. Спящие и мобильные устройства используют режимы пониженного энергопотребления. Как правило, это узлы с батарейным питанием. Обычно они выполняют роль датчиков или контроллеров каких-либо исполнительных устройств. Их количество диктуется потребностью конкретного приложения.

Роутеры осуществляют маршрутизацию пакетов по сети и должны быть готовы к передаче данных в любой момент времени. Поэтому эти узлы не используют режимов пониженного энергопотребления и имеют стационарное питание. Их количество в сети должно быть достаточным для обслуживания требуемого количества спящих и мобильных узлов. Максимальное количество спящих или мобильных узлов, обслуживаемых одним роутером - 32.

В настоящее время технология ZigBee широко применяется для создания беспроводных сетей датчиков, систем автоматизации зданий, устройств автоматического считывания показаний счетчиков, охранных систем, систем управления в промышленности. Сети ZigBee при относительно небольших скоростях передачи данных обеспечивают гарантированную доставку пакетов и защиту передаваемой информации.

Расстояния между узлами сети оставляют десятки метров при работе внутри помещения и сотни метров на открытом пространстве. За счет ретрансляций зона покрытия сети может значительно увеличиваться.

Главное отличие ZigBee от, например, Wi-Fi – это использование ячеистой топологии, а не топологии типа “звезда”, где все узлы сети соединяются через центральный роутер. В структуре “звезда” при потере соединения с роутером, узел не может связаться с остальными участниками сети. Благодаря ячеистой структуре, при обрыве одного соединения, будет проложен обходной маршрут, и сигнал дойдёт до получателя по новому пути. Это возможно благодаря тому, что между узлами существует прямая связь, а не только связь с «центром». Спецификация применяется в интернете вещей (IoT) и умных домах. [5]

Нужно отметить главный недостаток данной спецификации. Само наличие ZigBee-модуля не делает устройства от разных производителей совместимыми между собой (также, как в устройствах для умного дома с Wi-Fi модулем). Например, зигби-лампочка Икея Тродфри не будет работать с ZigBee-хабом Xiaomi Smart Home Gateway. Но некоторые компании добавляют поддержку конкретных устройств от других производителей, например, те же лампочки от Икеи будут работать совместно с мостом Philips Hue Bridge. Поэтому, выбирая ZigBee-устройства для умного дома, нужно выбирать качественного производителя, которому вы доверяете, ведь подключать к его мосту вы сможете только его продукцию. [5]

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Технология | **Bluetooth (2.0)** | **BLE** | **Wi-Fi** | **ZigBee** |
| Скорость передачи данных | 1-3 Мбит/с | До 2 Мбит/с | До 600 Мбит/с(802.11n) | До 250 Кбит/с |
| Диапазон частот | 2.4 ГГц | 2.4 ГГц | 2.4 / 5 ГГц | 900 МГц, 2.4 ГГц, 868 МГц для стран Европы |
| Рабочее расстояние между двумя устройствами | 100 м | 100 м | 100 м | 10-20 м |
| Топология | Точка-точка,звезда | Звезда | Звезда | Ячеистая |
| Макс. кол-во устройств | 7 | 32766 | 20 | 64000 |
| Потребляемая мощность | 1 Вт | 0.01-0.5 Вт | До 5-10 Вт | 0.01-0.5 Вт |

Таблица 2. Сравнение некоторых характеристик рассмотренных спецификаций.

Выбор стандарта зависит от конкретного случая и системных требований. В общем случае наилучшей пропускной способностью и самым развитым стеком протоколов обладает Wi-Fi, но Bluetooth, BLE и ZigBee для определенных задач станут идеальным выбором. Например, ZigBee лучше всего подойдёт для мониторинга множества датчиков с автономным питанием, которые распределены по большой площади. Bluetooth и BLE хорошо подойдут для замены кабельных соединений точка-точка или мониторинга датчиков на небольшом участке. BLE опирается на необъятную базу уже находящихся в эксплуатации планшетов и смартфонов, что обеспечивает ему неоспоримые преимущества для человеко-машинного интерфейса.

**Выбор спецификации для макетной части ВКР.**

В ходе макетной части ВКР предполагается создание подвижного объекта и осуществление беспроводного управления над ним. Для выбора необходимой технологии передачи данных нужно сразу разобраться с чего будет происходить управление подвижным объектом. Для того, чтобы не усложнять практическую часть ВКР и не разрабатывать «с нуля» терминал управления, можно использовать личный смартфон. В моем случае это OnePlus 2, на котором имеются такие модули как BLE, Bluetooth и Wi-Fi. Выходит, что технологию ZigBee использовать уже никак не получится. Если взглянуть на рынок микроконтроллеров, которые могут быть использованы для конструирования подвижного объекта, то наиболее доступными являются ESP8266 с интерфейсом Wi-Fi и Bluetooth-модуль HC-05/06. Исходя из меньших энергетических затрат и наличия HC-05 у научного руководителя, связь между смартфоном и подвижным объектом будет осуществляться с помощью интерфейса Bluetooth 2.0.

**Список используемых источников.**

1. Сети и системы беспроводного радиодоступа // Studfiles. 2016. Ростов н/Д. [Электронный ресурс] - https://studfiles.net/preview/5266884/

2. Скачков М. К. Что такое Bluetooth и как он работает? // 1234G. [Электронный ресурс] - http://1234g.ru/blog-of-wireless-technologies/bluetooth/chto-takoe-bluetooth-i-kak-on-rabotaet

3. Bluetooth c низким энергопотреблением // Википедия: свободная энциклопедия. [Электронный ресурс] -https://ru.wikipedia.org/wiki/Bluetooth\_с\_низким\_энергопотреблением

4. Wi-Fi // Википедия: свободная энциклопедия.

[Электронный ресурс] - https://ru.wikipedia.org/wiki/Wi-Fi

5. Герасимов А. ZigBee – технология беспроводной связи для систем умный дом // Voiceapp. 2018.

[Электронный ресурс] - https://voiceapp.ru/articles/zigbee

6. Общие сведения о ZigBee // 1234G. [Электронный ресурс] - http://1234g.ru/blog-of-wireless-technologies/zigbee/obshchie-svedeniya-o-zigbee