

# МОНИТОРИНГ ЛЕСНЫХ ПОЖАРОВ ПРИ ПОМОЩИ БЕСПРОВОДНЫХ СЕНСОРНЫХ СЕТЕЙ НА БАЗЕ LORAWAN

## FOREST FIRES MONITORING USING WIRELESS LORAWAN SENSOR NETWORKS

Авторы: Булныгин Алексей Григорьевич (Нижегородский государственный инженерно-экономический универси-тет)  
Михайлова Ольга Валентиновна (Нижегородская государственная сельскохозяйственная академия )  
Романов Павел Николаевич (Нижегородский государственный инженерно-экономический университет)

Аннотация: Статья посвящена актуальности применения современных технологий беспроводных сетей для мониторинга и раннего обнаружения лесных пожаров. Проведен анализ существующих разработок. Поставлена цель работы. Предложено решение существующей проблемы.

Ключевые слова: Очаги возгорания, беспроводная сенсорная сеть, мониторинг, ноды, моты.

Annotation: The article is devoted to the relevance of the use of modern wireless network technologies for monitoring and early detection of forest fires. The analysis of existing developments. The goal of the work. A solution to the existing problem is proposed.

Keywords: Fires, wireless sensor network, monitoring, nodes, motes.

Как бы много в наше время, в нашем мире не было различных стихийных бедствий, техногенных катастроф и прочих вредных и опасных факторов для человека и природы – огонь остается одним из самых опасных и одновременно полезных богатств человечества. Ежегодно в стране происходит более десятка тысяч лесных пожаров. Данные происшествя наносят непоправимый вред экосистеме, и деятельности человека, и жизни животных [1-11].

По данным РИА Новости в прошлом году площадь лесных пожаров в Российской Федерации составила 3 миллиона гектаров. Основными очагами являлись – Красноярский край и Якутия. Интересен тот факт, что площади, пройденные огнем, в указанном году выросли, а само количество пожаров не сильно возросло. По информации лесного хозяйства, к концу лета прошлого года лесопожарные службы и привлеченные лица потушили на землях лесного фонда около 9 тысяч пожаров.

Защита леса всего мира от сезонных пожаров является наболевшей проблемой всего мира. Только в нашей стране ежегодно происходит более десятка тысяч лесных пожаров.

Многие специалисты лесоохраны стремятся к тому, чтобы пресечь воспламенение и локализовать возгорание на раннем этапе. Очень остро стоит вопрос в обнаружении раннего этапа возгорания. Осуществлять постоянный, круглосуточный мониторинг,

как наземный, так и авиамониторинг, очень затратно. Начиная с 2015 года многие субъекты РФ переходят на использование видеонаблюдения для мониторинга лесных пожаров. Безусловно, это более эффективно, чем авто/авиамониторинг, или наземный, но все же - энергозатратно, и не столь эффективно при круглосуточном режиме работы, а значит экономически не целесообразно к использованию. Поэтому необходимо изыскать альтернативные варианты мониторинга.

Согласно приказу «О создании специализированной диспетчерской службы лесного хозяйства Нижегородской области» № 1557 от 14.12.2016 года а так же на основании приказа «О порядке предоставления оперативной информации о лесном пожаре» № 249 от 03.04.2017 года в эксплуатацию во все лесничества и лесные хозяйства Нижегородской области была введена информационная система дистанционного мониторинга, на основании космомониторинга в системе ИСДМ-Рослесхоз. Приказы являются действующими и по настоящее время.

Данная АИС работает на основании картографических данных, которые предоставляет спутник. Данные о термоточках, которые получаются в результате наблюдения спутника за определенным лесным участком транслируются на сервер ИСДМ-Рослесхоз и в понятной форме в виде снимка карты с точным местоположением и всеми необходимыми для отчета данными, одними из которых являются - данные для начала локализации пожара. Указанные данные доносятся до дежурного диспетчера на его оконечный пункт рабочей станции в роли которой выступает персональный компьютер. Доступ к ИСДМ-Рослесхоз осуществляется по логину и паролю, который генерируется ежесуточно, и передается исключительно диспетчеру конкретного лесничества.

В общем и целом, данная АИС является очень важным шагом к автоматизированному мониторингу лесных пожаров, но, к сожалению, местами неточные глобальные спутники, а так же не совсем практичный способ взаимодействия диспетчера с данной ИС (формат сайта), и не слишком эффективная система оповещения, которая не исключает человеческий фактор, оставляет вопрос о более удобном и рациональном локальном мониторинге открытым. В настоящее время выделяются большие денежные средства на средства пожаротушения, и на наземный и авиационный мониторинг, хотя было бы гораздо удачнее единожды вложиться в систему локального мониторинга, которая была закреплена бы за каждым отдельным лесничеством Нижегородской области, и работала бы не как веб-сервис в формате сайта, а как настольное локальное приложение, с оповещением не только по сетям связи и интернет, но и банальному использованию системы sms-оповещения диспетчеров лесничеств, поэтому тема диссертационного исследования актуальна.

Нами предлагается изучить материалы о беспроводных сенсорных сетях, провести сравнительную характеристику методов построения сетей мониторинга на базе беспроводных сенсорных сетей (БСС), и сформировать полноценную топологию датчиков БСС для энергоэффективного и дешевого в обслуживании мониторинга лесных массивов на предмет возгораний.

Для своевременного получения актуальной информации о состоянии леса и

возможных пожарах используются различные технические средства, расположенные на земле, воздухе и в космосе. Применение таких средств вызывает определенные трудности по причине отсутствия в лесу необходимой инфраструктуры, включающей источники электропитания и информационные сети. Сегодня технологии БСС являются единственными, с помощью которых можно успешно решать задачи мониторинга лесных пожаров и контроля состояния лесов, обеспечивающие длительное использование системы без необходимости замены ее устройств из-за отсутствия энергообеспечения и их технического обслуживания непосредственно в местах развертывания сети.

В общем и целом, изучив материалы по данной тематике, можно сказать, что беспроводные сенсорные сети являются на данный момент максимально активно и быстро развивающимися системами мониторинга и автоматизации рабочих процессов в различных сферах. Датчики беспроводных сенсорных сетей (моты/ноды), настроенные на работу с ведущим устройством, создают полноценную «живую» систему сбора данных. Под «живой» подразумевается то, что такая система организует себя сама, т.е. датчики находят друг друга, и складываются в полноценный рабочий организм. В случае неполадок, связанных с выходом из строя одного из датчиков сети, остальные найдут альтернативных маршрут передачи данных, и продолжат функционировать, не смотря на отказ одного из них.

Самым главным преимуществом беспроводных сенсорных сетей, как можно понять из названия является отсутствие прокладки кабелей и прочего оборудования при построении такого вида сетей. Беспроводные сенсорные сети являются легко интегрируемыми, ведь они запросто способны работать с интерфейсами и протоколами, которые используются на данный момент.

Датчики беспроводных сетей могут располагаться в действительно труднодоступных местах. Их низкий уровень потребления энергии, может дать конечному пользователю такой сети срок эксплуатации в три – четыре года, что позволит не переживать об постоянном обслуживании такой сети. Датчики беспроводных сенсорных сетей зачастую очень неприхотливы.

Одним из важнейших факторов при проектировании беспроводных сенсорных сетей является выбор оптимального стандарта передачи данных. Зачастую беспроводные сенсорные сети используют стандарты Wi-Fi, WiMAX, ZigBee, LoRa и реже Bluetooth. И хотя можно настроить систему на работу с гибридным стандартом передачи данных (половина нод использует wi-fi, другая половина ZigBee), большинство из стандартов используют в работе диапазон частот 2.4 ГГц, а значит при гибридном использовании не удастся избежать помех.

Балонин Н.А. утверждает, что устройства Wi-Fi очень широко распространены на современном рынке, и почти что являются монополистами рынка. Совместимость оборудования обязательно гарантируется благодаря сертификации. Технологии Wi-Fi позволяют развернуть сеть без прокладки кабеля, что может уменьшить стоимость построения сети.

Достиярова А.М. в своей статье говорит о том, что LoRa – современная технология модуляции в беспроводных сетях. Эта технология обеспечивает отличную дальность связи, в сопоставлении с прочими альтернативами на рынке. В LoRa модуляция основана на технологии расширения спектра SSM и вариации линейной частотной модуляции CSS с интегрированной прямой коррекцией ошибок FEC (Forward Error Correction). LoRa способна демодулировать сигналы на уровне 20 дБ ниже уровня шумов, что удивительно, в сравнении с остальными системами, которые работают с сигналами уровня не ниже 8-10 дБ уровня шумов. LoRa работает непосредственно в LPWAN. LPWAN – энергоэффективная сеть дальнего радиуса действия – беспроводная технология передачи данных на максимально дальние расстояния. В данного вида сетях используется протокол LoRaWAN, работающий на MAC-уровне.

Компания, широко использующая LoRa выделяет так же что, протокол LoRaWAN покрывает двухстороннее сообщение между нодами и защищает все пакеты специальным методом шифрования, для большей надежности всей системы.

В статье «Возможности использования технологии LORAWAN в части подключения оконечных устройств связи для разработки системы МПЦ» я почерпнул, что данные от узлов передаются в обе стороны — от узла к серверу и обратно. Узлы работают в режиме передачи лишь краткие промежутки времени, далее открывается временное окно на прием данных. Остальное время узлы находятся либо в спящем состоянии, либо в состоянии приема, которое зависит от класса устройства, узел (end-node) передает данные на шлюз короткими посылками по заданному графику. Инициатором обмена выступает сам конечный узел (end-node). Точка (end-node), как правило, не требует получения подтверждения своего сообщения приложением (сообщение без квитирования), однако протокол предусматривает и сообщения, на которые сервер приложений формирует специальный ответ, «квитанцию», а сетевой сервер выбирает лучший маршрут (шлюз) для отправки подтверждения (АСК от англ. acknowledgment — подтверждение) в момент открытия узлом окна приема (сообщение с квитированием). Узел (end-node) переходит в режим приема (открывает окно приема) сразу после отправки данных на некоторое непродолжительное время, в остальное, более продолжительное время, находится в режиме энергосбережения или сна (sleep). Сервер накапливает для точек (end-node) сообщения и пересылает их сразу, как точка (end-node) выходит на связь. Этот класс конечных (end-node) узлов наиболее экономичен в потреблении энергии и наиболее распространен на практике.

В общем виде, на сегодняшний день различают три вида маршрутизации – простую, фиксированную и адаптивную. Разница состоит в том, что у всех видов абсолютно разная степень учета изменения топологии и нагрузки сети, при просчете и выборе маршрута.

А.П. Пятибаров отмечает, что простая маршрутизация характеризуется тем, что при выборе маршрута не берется в расчет изменение топологии сети, и изменение состояния нагрузки на сеть. Такая маршрутизация не обеспечивает направленную передачу пакетных данных и имеет относительно низкую эффективность. Основным преимуществом будет являться простота реализации алгоритма маршрутизации и обеспечение ее устойчивой работы при выходе из строя отдельного элемента. Простая

маршрутизация на данный момент получила деление на разновидности: случайную и лавинную. Особенность случайной маршрутизации в том, что для обмена данными из узла связи выбирается одно, случайное не занятое направление. Пакет «блуждает» по сети и с определенной вероятностью когда-то достигнет адресата. При этом и речи не идет об оптимальном времени доставки данных, да и эффективность использования пропускной способности отсутствует полностью.

Лавинная маршрутизация подразумевает передачу пакета из узла по всем направлениям, кроме того направления, откуда и был взят пакет в данном узле. Данная операция называется «ветвлением» пакета, что ухудшает пропускную способность сети, но так достигается максимально оптимальное времени доставки пакета конечному адресату, так как хотя бы одно из всех направлений будет соответствовать обеспечению такого времени. Метод лучше всего применять в мало загруженных сетях, когда требования по времени выше, чем рациональное использование пропускной способности.

Фиксированная маршрутизация – процесс выбора маршрута, с учетом динамического изменения топологии сети. В данном методе, все еще не учитывается изменение нагрузки на сеть. Для каждого узла сети направление передачи данных выбирается исходя из таблицы маршрутов, которая в свою очередь определяет кратчайшие маршруты. Каталоги и таблицы маршрутов собираются в центре управления сетями. Так же они составляются заново и модифицируются уже при изменениях в топологии сети. Отсутствие адаптации к изменению нагрузки приводит к задержкам пакетов сети.

Адаптивная маршрутизация - это такая маршрутизация, в которой все решения о маршрутах передачи данных строятся с учетом изменения как топологии, так и нагрузки сети. Существует несколько модификаций такой маршрутизации: локальная, распределенная, централизованная и гибридная.

При построении беспроводной сенсорной сети, необходимо рассмотреть все возможные источники отклонений и помех во время работы узлов. Основным источником проблем, в сетях формата Wi-Fi и Zigbee является, например, работа множества не имеющих отношения к сенсорной сети устройств в том же диапазоне частот. Во время использования устройств на одном диапазоне частот, вся эффективность сенсорной сети заметно снижается, и пропускная способность уменьшается за счет обрывов и повторных передач. Простыми словами, устройства вне среды беспроводной сенсорной сети, вступают в конфронтацию с устройствами проектируемой сети за доступ к среде частотного диапазона. Основная проблема рассмотренных ранее сетей, как раз и состоит в том, что почти все устройства работают на одной частоте, что лицензирована в диапазоне 2,4 Гц. В свою очередь, рассмотренная сеть на базе топологии LoRa лицензирована на работу в диапазоне ~0,87 Гц. Что касается LoRaWAN, помимо диапазона, играющего положительную роль при работе и проектировании сети, к отличительным особенностям так же стоит отнести линейно-частотную модуляцию, которая является очень помехозащищенной. Линейно-частотная модуляция (Chirp spread spectrum, CSS) позволяет принимать сигнал от устройств на уровнях мощности ниже, чем уровень шума, и при этом данный

вид модуляции является немаловажным фактором в обеспечении длительности работы сети.

Одним из важнейших требований к БСС выступает их срок автономной работы. Время жизненного цикла нод в БСС обычно напрямую зависит от времени жизни их источника питания.

Потребление энергии в узлах является совокупностью затрат энергии датчика и потребления энергии канала связи.

Основное количество времени жизненного цикла датчики находятся в «спящем» режиме, когда у них пониженное энергопотребление. Затраты энергии в первую очередь происходят при приеме или передаче данных, и выполнения различных функций измерения.

Энергоциклограммы позволяют рассмотреть режим работы узлов именно с точки зрения энергопотребления.

На сегодняшний день беспроводные сенсорные сети являются самым эффективным решением для мониторинга и контроля за производственными помещениями и различными аспектами жизнедеятельности человека. В силу своих маленьких габаритов, и большой вариативности размещения, можно использовать БСС в любых помещениях и на любых территориях. Узлы БСС обладают очень низким энергопотреблением, что позволяет не задумываться об их обслуживании вплоть до нескольких лет.

В мае 2019 года в Борском районе Нижегородской области ГБУ НО Нижегородский лесопожарный центр в целях мониторинга лесных пожаров стало применять дроны. Дроны применяются не только для обнаружения очага пожара, но и для патрулирования лесов от незаконного посещения и вырубки. Но, в сравнении с беспроводными сенсорными сетями, дроны не обеспечивают постоянного круглосуточного мониторинга, имеют большие трудовые затраты и гораздо сильнее зависят от человеческого фактора. В любом случае, спонсирование межрайонных лесничеств камерами наблюдения, и использование дронов с целью мониторинга лесных пожаров, подтверждают тенденцию того, что на сегодняшний день существует потребность в использовании информационных и инфокоммуникационных технологий в сфере лесной охраны, а значит необходимо продолжать проводить исследования по данной теме.

**Целью работы** является рассмотрение варианта использования системы мониторинга на базе беспроводных сенсорных сетей с применением энергоэффективного метода передачи данных.

Для достижения указанной цели в диссертационной работе были поставлены следующие задачи:

1. Исследовать существующие способы построения беспроводных сенсорных сетей.
2. Исследовать существующие способы энергоэффективной передачи

аккумуляированных данных между датчиками.

3. Осуществить анализ готовых датчиков БСС применяемых для обнаружения лесных пожаров, представленных на рынке.

4. Рассчитать и разработать полноценную систему мониторинга лесного пожара для конкретного лесного фонда.

### **Научная новизна**

Обоснование системы мониторинга лесных пожаров на основе энергоэффективных беспроводных сенсорных сетей.

### **Практическая ценность работы**

Разработка системы мониторинга лесного пожара на базе беспроводной сенсорной сети с применением энергоэффективного протокола передачи данных.

Резюмируя все выше указанное, можно сделать вывод о том, что система мониторинга очагов возгорания нуждается в усовершенствовании.

### **Список использованных источников**

1. Балонин Н.А. Беспроводные персональные сети [Учебное пособие] / Н.А. Балонин, М.Б. Сергеев. - Санкт-Петербург 2012 СПбГУАП СПб.
2. Достиярова А.М. Мощность антенн от передатчика устройств LoRa / вестник казахской академии транспорта и коммуникаций им. М. Тынышпаева, 2017.
3. Использование технологии беспроводной сети на базе решений «Стриж»: <https://strij.tech/tehnologiya-strizh>.
4. Бекмагамбетова Ж.М. Возможности использования технологии LORAWAN в части подключения оконечных устройств связи для разработки системы МПЦ. 2018, Вестник Казахской Академии транспорта и коммуникаций им. М. Тынышпаева.
5. Роенков Д.Н. Основы технологии lora. перспективы ее применения. Автоматика. Связь. Информатика. РЖД МСК 2017.
6. Заяц А.М. «Информационная система мониторинга лесов и лесных пожаров с использованием беспроводных сенсорных сетей».
7. Пятибратов А.П. Вычислительные машины, сети и телекоммуникационные системы [Текст] / А. П. Пятибратов. - Москва, 2016 - 345 с.
8. «Сеть LoraWan на базе комплексного решения VEGA»: <https://www.euromobile.ru/m2m-resheniya/set-lorawan-na-baze-kompleksnogo-resheniya-vega>.
9. Zhdankin G.V. and ets. Installations for complex influence of electrophysical factors on raw materials. Of the National academy of sciences of the republic of Kazakhstan. Volume 4, Number 4(436).- 2019.-P. 54-61.
10. Zaycev P.V. and ets. Development snegogenerator installations for the separation of fluff from the skins of rabbits. 2019, Journal of Environmental Treatment Techniques, Special

Issue on Environment, Management and Economy, Pages: 882-889.

11. *Poruchikov D.V. and ets. Microwave technologies and devices separating fur from rabbit skin. Amazonia Investiga. - 2018. - Vol. 7. № 17. - P. 630-640.*

### **List of sources used**

1. Balonin N.A. Wireless Personal Networks [Training Aid] / N.A. Balonin, M.B. Sergeev. - St. Petersburg 2012 SPBGUAP SPB.
2. Dostiyarova A.M. Antenna power from the LoRa device transmitter / Bulletin of the Kazakh Academy of Transport and Communications named after M. Tynyshpayeva, 2017.
3. Using wireless technology based on the Strizh solutions:  
<https://strij.tech/tehnologiya-strizh>.
4. Bekmagambetova Z.M. Possibilities of using LORAWAN technology in connection of connecting terminal devices for the development of the MPC system. 2018, Bulletin of the Kazakh Academy of Transport and Communications named after M. Tynyshpaeva.
5. Roenkov D.N. Bases of lora technology. Prospects of its applications automation. Communication. Informatics. Russian Railways MSC 2017.
6. Zayats A. M. "Information system for monitoring forests and forest fires using wireless sensor networks".
7. Pyatibratov A.P. Computers, networks and telecommunication systems [Text] / A. P. Pyatibratov. - Moscow, 2016 - 345 p.
8. "LoraWan network based on the integrated VEGA solution":  
<https://www.euromobile.ru/m2m-resheniya/set-lorawan-na-baze-kompleksnogo-resheniya-vega>.
9. Zhdankin G.V. and ets. Installations for complex influence of electrophysical factors on raw materials. Of the National academy of sciences of the republic of Kazakhstan. Volume 4, Number 4(436).- 2019.-P. 54-61.
10. *Zaycev P.V. and ets. Development snegogenerator installations for the separation of fluff from the skins of rabbits. 2019, Journal of Environmental Treatment Techniques, Special Issue on Environment, Management and Economy, Pages: 882-889.*
11. *Poruchikov D.V. and ets. Microwave technologies and devices separating fur from rabbit skin. Amazonia Investiga. - 2018. - Vol. 7. № 17. - P. 630-640.*