

УДК 004.424.4

А. П. ПЛАХТЕЕВ<sup>1,2</sup>, А. А. ОРЕХОВ<sup>1</sup>, П. А. ПЛАХТЕЕВ<sup>2</sup><sup>1</sup> *Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского «ХАИ», Украина*<sup>2</sup> *Харьковский национальный автомобильный университет, Украина*

## СИСТЕМА МОНИТОРИНГА ЛЕСНЫХ ПОЖАРОВ НА ОСНОВЕ СЕНСОРНЫХ СЕТЕЙ

*Проведен анализ современных технологий для построения наземных систем мониторинга лесных пожаров. Предлагается архитектура интегрированной наземной системы мониторинга на основе видеонаблюдения и беспроводных сенсорных сетей для прогнозирования и раннего обнаружения лесных пожаров. Рассмотрены варианты построения беспроводных сенсорных сетей на основе технологий ZigBee и MeshLogic. Предложена реализация оптоэлектронного детектора дыма узла сенсорной сети. Приводятся результаты экспериментов по оценке чувствительности датчика при изменении плотности задымления. Сформулированы задачи дальнейших исследований, связанных с обеспечением электропитанием и оптимизацией профиля энергопотребления, а также интеграция устройства в единую беспроводную систему мониторинга лесных пожаров.*

**Ключевые слова:** мониторинг, лесные пожары, видео наблюдение, сенсорные сети, детектор дыма.

### Введение

Ежегодно в мире происходит более двухсот тысяч лесных пожаров. Основными негативными факторами влияния лесных пожаров являются: непосредственная угроза жизни человека; влияние пожаров на глобальное потепление; угроза сохранения биоразнообразия; значительные экономические потери в лесохозяйственной промышленности [1].

Исходя из вышесказанного ясно, что проблема мониторинга и раннего обнаружения лесных пожаров на сегодняшний день является актуальной.

Различают три типа лесных пожаров: низовой, верховой и подземный. При низовом пожаре сгорает лесная подстилка, лишайники, мхи, травы, опавшие на землю ветки и т. п.

Скорость движения пожара по ветру 0,25÷5 км/ч, высота пламени до 2,5 м, Температура горения около 700 °С (иногда выше).

Верховой лесной пожар охватывает листья, хвою, ветви, и всю крону, может охватить (в случае повального пожара) травяно-моховой покров почвы и подрост. Скорость распространения от 5÷70 км/ч. Температура от 900 °С до 1200 °С.

Подземные (почвенные) пожары в лесу чаще всего связаны с возгоранием торфа, которое становится возможным в результате осушения болот. Распространяются со скоростью до 1 км в сутки. Они могут быть мало заметны и распространяться на глубину до нескольких метров, вследствие чего представляют дополнительную опасность и крайне плохо поддаются тушению.

Своевременное обнаружение возгорания является наиболее эффективным способом борьбы с лесными пожарами.

**Анализ работ в данной предметной области.** Наземный мониторинг включает в себя организацию наблюдательных пунктов, патрулирование наиболее пожароопасных зон, установка вышек для видеонаблюдения [2].

Системы видеонаблюдения позволяют значительно повысить оперативность обнаружения и ликвидации лесных пожаров [3, 4]. Однако, в лесах с холмистой местностью угол обзора и дальность видимости камер ограничены. Также видеонаблюдение является неэффективным из-за малой вероятности обнаружения подземных и низовых пожаров в том случае, если дым и пламя не поднимаются выше кроны деревьев.

Перспективной является архитектура интегрированной наземной системы мониторинга (ИНСМ), которая включает в себя видеонаблюдение, а в «слепых» и наиболее пожароопасных зонах – использование датчиков, объединенных в беспроводные сенсорные сети (БСС) [5-7].

**Цели и задачи работы.** Целью данной работы является разработка архитектуры наземной интегрированной системы мониторинга для обнаружения лесных пожаров на основе видеонаблюдения и беспроводных сенсорных сетей с учетом существующей инфраструктуры оборудования, особенностями лесных зон, естественных ограничений и пр.

## 1. Наземная интегрированная система обнаружения лесных пожаров

Для обеспечения своевременного обнаружения возгорания в ИНСМ используются наблюдательные вышки с установленными на них видеокамерами и сенсорная сеть. Архитектура ИНСМ показана на рисунке 1.

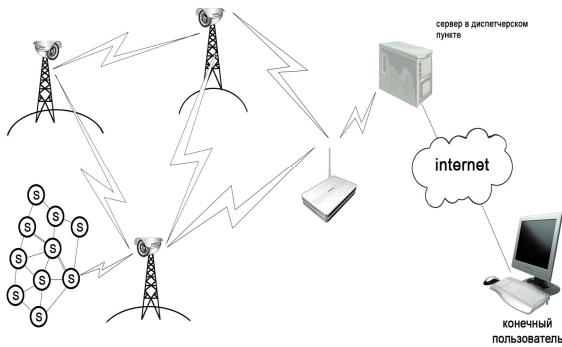


Рис. 1. Архитектура наземной интегрированной системы мониторинга лесных пожаров

Для обеспечения покрытия наблюдаемой зоны при размещении и строительстве вышек учитываются особенности рельефа местности. Это позволяет увеличить дальность видимости каждой из камер, а в случае обнаружения возгорания – точно определить координаты пожара по пересечению линий от 2-3 видеокамер. Полученная информация с видеокамер по беспроводному каналу передается на диспетчерский пункт, в котором обеспечивается дистанционное управление камерами. После обнаружения координат возгорания информация сохраняется на сервере с целью дальнейшего анализа и проведения противопожарных мероприятий.

Достижения в области использования БСС свидетельствуют о том, что они являются перспективной технологией для интеграции в системы видеомониторинга и/или замены последних. В частности, сенсорные сети активно применяются в медицине, аграрном секторе, диспетчерских и охранных системах и пр. Современные датчики могут контролировать различные статические и динамические параметры. Для обнаружения лесных пожаров представляет интерес мониторинг температуры и влажности воздуха, направления и скорости ветра, обнаружения дыма и открытого огня. Исходя из этого, БСС могут быть полезны не только для обнаружения лесных пожаров, но так же для получения необходимой информации о климатических условиях в лесных насаждениях.

## 2. Архитектура беспроводных сенсорных сетей

Любая сенсорная сеть состоит из трёх частей: систем сбора, передачи и обработки полученных данных. На сегодняшний день наиболее развиты два варианта организации БСС - стандарт IEEE 802.15.4: (технология ZigBee) и MeshLogic. К достоинствам каждой из систем можно отнести низкое энергопотребление и стоимость устройств, самоорганизацию сети, благодаря встроенному программному обеспечению и поддержке большого количества клиентов.

Технология ZigBee активно продвигается одноименным альянсом производителей аппаратного и программного обеспечения на основе ряда стандартов. Сеть включает три типа устройств: координатор ZigBee, маршрутизаторы ZigBee и оконечные устройства. Оконечное устройство считывает исследуемые параметры со встроенных датчиков и передает их по беспроводному каналу к ближайшему маршрутизатору, который, в свою очередь, осуществляет доставку данных к координатору сети. Питание оконечных устройств осуществляется от автономных источников энергии. Срок службы одного источника питания может варьироваться от нескольких месяцев до нескольких лет. Это обеспечивается способностью оконечных устройств находиться в спящем режиме большую часть времени и «просыпаться» на короткий промежуток времени, чтобы считать и передать данные. Однако, маршрутизаторы и координатор постоянно потребляют энергию источника питания, что является существенным недостатком, так как в данных условиях развертывания сети нет возможности обеспечить постоянную подачу электроэнергии. Отказоустойчивость сети, построенной по технологии ZigBee, является достаточно низкой, так как в случае выхода из строя одного из маршрутизаторов перестает функционировать один из участков сети, а в случае выхода из строя координатора – сеть прекращает функционировать в целом.

Принцип работы технологии MeshLogic подобен технологии ZigBee, но имеет ряд существенных отличий. Во-первых, топология данной сети не требует конкретной иерархии устройств, так как каждый узел выполняет роль, как оконечного устройства, так и маршрутизатора. Во-вторых, питание каждого из узлов обеспечивается портативными источниками питания, а долгий срок службы последних, как и в предыдущей технологии, осуществляется за счет способности узлов проводить большую часть времени в спящем режиме. В-третьих, отказоустойчивость такой сети довольно высокая, так как в случае выхода из строя одного из узлов, сеть автоматически перекладывает новый маршрут, что является

существенным преимуществом. Недостатком данной технологии является проблема обеспечения одновременного выхода из спящего режима всех устройств, поскольку время «бодрствования» одного узла измеряется в нескольких миллисекундах.

Ввиду рассмотренных выше проблем, в качестве альтернативой БСС может служить система мониторинга, в которой данные передаются по радиочастотному каналу с проприетарными протоколами. При построении такой системы необходимо минимизировать требования к ресурсам оконечных узлов сети, интегрировать функции датчика и сетевого обмена в малогабаритных устройствах с малой стоимостью. Поскольку радиочастотный обмен может быть реализован на основе существующих модулей и беспроводных микроконтроллеров компаний: Telecontrolli, HopeRF, Texas Instruments, STMicroelectronics, Atmel, Microchip и др., то следует разработать совместимый с ними вариант датчика для обнаружения дыма от возгорания.

### 3. Узел беспроводной сенсорной сети с оптоэлектронным датчиком дыма

Независимо от выбранной технологии беспроводной сенсорной сети, ее узлы должны иметь датчики для обнаружения пожара, микроконтроллер (МК), который обеспечивает управление датчиками, обработку полученных данных и передачу по БСС посредством трансивера (Т). Учитывая массовость узлов сети, не подлежащих обслуживанию в течение продолжительного срока службы, естественным требованием является надежность и малая стоимость при жестких ограничениях на весогабаритные параметры и энергетические ресурсы. Следует учитывать ограниченность памяти и производительности микроконтроллеров при выборе алгоритмов обработки данных. Важным компонентом узла сети является энергосистема на основе химических источников тока (гальванических элементов, аккумуляторов), электрических генераторов, устройств сбора энергии солнца, ветра, вибрации и др. Вместо аккумуляторов для накопления энергии широко используются ионисторы. Широкий спектр DC-DC преобразователей, как повышающих, так и понижающих обеспечивает построение вторичных источников питания для датчиков, микроконтроллеров и трансиверов. На микроконтроллер возлагается управление собственным энергопотреблением и прочего оборудования узла.

Для обнаружения задымления могут использоваться различные датчики, но наибольшее распространение получили оптические датчики.

Существует множество серийных линейных

дымовых пожарных извещателей (smoke detectors) как однокомпонентных, так и двухкомпонентных, представленных, например, компанией System Sensor [www.systemsensor.com]. Они обычно предназначены для установки в помещениях, имеют относительно большие габариты, потребляемую мощность, требуют юстировки и обслуживания, что ограничивает их применение для обнаружения лесных пожаров.

Аналогом предлагаемого датчика является оптоэлектронный детектор дыма [8], содержащий источник (И) и приемник (П) инфракрасного излучения, расположенные таким образом, что прямым путем от источника к приемнику световые лучи попасть не могут. При наличии частиц дыма в области, где осуществляется контроль плотности оптического излучения задымленной среды, рассеянное частицами дыма световое излучение попадает в фотоприемник, при этом вырабатывается соответствующий электрический сигнал.

В этой связи весьма существенным является, чтобы в фотоприемник поступал свет, рассеянный именно частицами дыма, и не поступал так называемый фоновый свет, отражаемый деталями детектора дыма или поступающий в него извне, поскольку вызываемый фоновым светом электрический сигнал снижает точность работы детектора и может привести к его ложному срабатыванию. Для уменьшения влияния фонового света используется модулированное оптическое излучение. Множество аналогичных решений можно найти в классах изобретений: G08B17/107 (для обнаружения рассеяния светового излучения, обусловленного дымом), G08B17/10 (включение сигнализации при наличии дыма или газов).

Наиболее эффективными и доступными приемниками модулированного оптического излучения являются приемники ИК каналов передачи команд дистанционного управления, выпускаемые в интегральном исполнении (серия TSOPxxxx) для различных частот модуляции. Несколько датчиков может управляться одним МК (рис. 2).

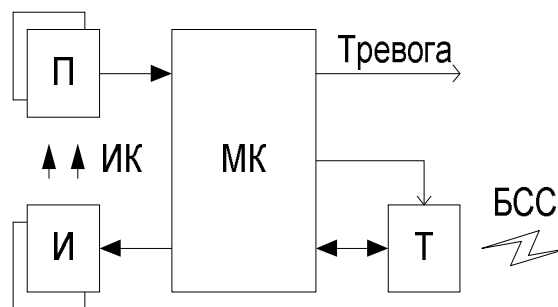


Рис. 2. Структурная схема устройства

Для оценки вариантов выбора элементов датчика, их оптимального размещения и алгоритма опроса реализован макет устройства на основе AVR микроконтроллера ATtiny13. В датчике использован ИК светодиод и приемник TSOP4836 (36 кГц). Используется светодиодная индикация обнаружения задымления. Внешний вид устройства показан на рисунке 3.

**Принцип работы.** Источник ИК-излучения посылает прерывистое излучение определенной частоты узким лучом, который не попадает на приемник. Как только в зоне пересечения диаграмм направленностей источника и приемника появляется дым – лучи отражаются от частиц дыма и попадают на приемник.

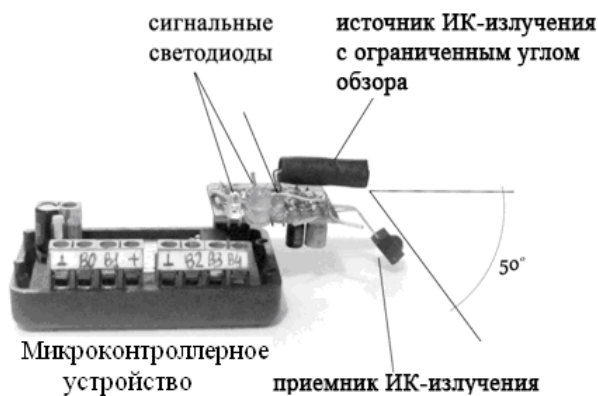


Рис. 3. Внешний вид устройства

При достаточной интенсивности отраженного излучения на выходе приемника изменяется уровень сигнала и устройство с помощью светодиодов сигнализирует об обнаружении дыма.

Учитывая диаграмму направленности приемника и источника ИК-излучения, можно менять угол между ними, тем самым изменяя объем и удаленность от устройства зоны пересечения, в которой и происходит отражение ИК-излучения. Путем изменения числа и параметров импульсов ИК устанавливается необходимая чувствительность датчика.

Чрезвычайно важным для увеличения времени жизни беспроводного узла является оптимизация профиля энергопотребления, включающего циклы активного функционирования и сна.

При разработке алгоритма и программы функционирования микроконтроллера предусмотрен режим глубокого сна с пробуждением от сторожевого таймера. Светодиодные индикаторы, которые включаются в активном режиме, потребляют такую же мощность, как и трансивер, что дает более полное представление о профиле энергопотребления узла БСС.

#### 4. Экспериментальные исследования датчика

В рамках данной работы на открытом воздухе в условиях, приближенных к реальному использованию БСС, был проведен ряд экспериментов для оценки способности данного устройства выявлять задымление различной плотности.

В качестве источника дыма использовалась дымовая шашка, а само устройство было размещено на высоте 1,3 м от земли на различном удалении от источника дыма. По мере удаления плотность дыма уменьшается.

Целью первого эксперимента была настройка взаимного положения ИК излучателя и приемника устройства при отсутствии задымления. Излучатель посылает сигнал, который рассеивается в воздухе и не попадает на приемник.

Последующие эксперименты преследовали цель оценки чувствительности датчика. Расстояние от источника дыма до устройства варьировалось от полуметра до 20 метров, чтобы обеспечить различную плотность задымления. В ходе выполнения всех вышеописанных экспериментов устройство обнаружило наличие дыма.

Данные результаты свидетельствуют о том, что устройство может быть использовано как основа для разработки детектора задымленности в лесных насаждениях.

#### Заключение

В данной работе была предложена интегрированная архитектура наземной системы мониторинга лесных пожаров, включающая в себя видеонаблюдение и беспроводные сенсорные сети. Системы мониторинга, построенные на основе такой архитектуры, позволяют сократить время и повысить точность обнаружения пожара в лесных массивах, тем самым обеспечив оперативное информирование о возгорании. Дальнейшие исследования в данной области планируются в направлении разработки и усовершенствования оконечного устройства, в частности: рассмотрение вопросов, связанных с обеспечением электропитанием и оптимизацией профиля энергопотребления, разработка конструкции, позволяющей защитить устройство от вредных погодных факторов, интеграция устройства в единую беспроводную систему мониторинга лесных пожаров.

#### Литература

1. Воробьев, Ю. Л. Лесные пожары на территории России: Состояние и проблемы [Текст] :

монографія / Ю. Л. Воробьев, В. А. Акимов, Ю. И. Соколов. – М. : ДЭКС-ПРЕСС, 2004. – 312 с.

2. ГОСТ Р 22.1.09-99. Безопасность в чрезвычайных ситуациях, мониторинг и прогнозирование лесных пожаров. Общие требования [Текст]. – М. :Изд-во стандартов, 2000.

3. Мединцев, С. Ю. Системы мониторинга лесных ресурсов: состояние и пути развития [Текст] / С. Ю. Мединцев, А. А. Орехов, Д. А. Кочкарь // *Радиоелектронні і комп'ютерні системи*. – 2009. – № 6(40). – С. 70–74.

4. Automatic Early Warning System for Forest Fires [Электронный ресурс] / FireWatch. – Режим доступа: <http://www.fire-watch.de/cms>.

5. Hefeeda, M. Forest fire modeling and early detection using wireless sensor networks [Text] / M. He-

feeda, M. Bagher // *Ad Hoc & Sensor Wireless Networks*. – 2009. – Vol. 7. – P. 169-224.

6. Pripuzic, K. Early forest fire detection with sensor networks: sliding window skylines approach [Text] / K. Pripuzic, H. Belani, M. Vukovic // *Proceedings 12th International Conference, KES 2008 Zagreb*. – 2008. – Part 1. – P. 725-732.

7. Hsu-Yaung Kung Drought forecast model and framework using wireless sensor networks [Text] / Hsu-Yaung Kung, Jing-Shiuan Hua, Chaur-Tzuhn Chen // *Journal of Information Science and Engineering*. – 2006. – № 22. – P. 751-769.

8. Детектор дыма (RU 2288505) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.findpatent.ru/patent/228/2288505.html>. – 26.10.2013.

Поступила в редакцию 03.03.2014, рассмотрена на редколлегии 25.03.2014

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. А. А. Серков, Национальный технический университет «ХПИ», Харьков, Украина.

## СИСТЕМА МОНИТОРИНГУ ЛІСОВИХ ПОЖЕЖ НА ОСНОВІ СЕНСОРНИХ МЕРЕЖ

*А. П. Плахтеев, О. О. Орехов, П. А. Плахтеев*

Проведено аналіз сучасних технологій для побудови наземних систем моніторингу лісових пожеж. Пропонується архітектура інтегрованої наземної системи моніторингу на основі відео спостереження і бездротових сенсорних мереж для прогнозування та раннього виявлення лісових пожеж. Розглянуто варіанти побудови бездротових сенсорних мереж на основі технологій ZigBee і MeshLogic. Запропоновано реалізацію оптоелектронного детектора диму вузла сенсорної мережі. Наводяться результати експериментів по оцінюванню чутливості датчика при зміні щільності задимлення. Сформульовано завдання подальших досліджень, пов'язаних із забезпеченням електроживленням та оптимізацією профілю енергоспоживання, а також інтеграція пристрою в єдину бездротову систему моніторингу лісових пожеж.

**Ключові слова:** моніторинг, лісові пожежі, відео спостереження, сенсорні мережі, детектора диму.

## FOREST FIRES MONITORING SYSTEM BASED ON SENSOR NETWORKS

*A. P. Plakhteev, O. O. Orekhov, P. A. Plakhteev*

Modern technologies analysis for building of the ground forest fire monitoring systems has been completed. An integrated ground monitoring system architecture based on video-monitoring and wireless sensor networks for early forest fires prediction and detection is proposed. Wireless sensor networks building options based on ZigBee and MeshLogic technologies were examined. Realization of optoelectronic smoke detector for sensor network node was proposed. Results of detector sensibility experiments in smoke density measurement are presented. Further research tasks were formulated related to power supply provision and power consumption profile optimization, as well as device integration into the united wireless forest fire monitoring system.

**Key words:** monitoring, forest fires, video-monitoring, sensor networks, smoke detector.

**Плахтеев Анатолий Павлович** – канд. техн. наук, доцент, Харьковський національний автомобільний університет, Харьков, Україна.

**Орехов Александр Александрович** – канд. техн. наук, доцент, професор Національного аерокосмічного університету ім. Н. Е. Жуковського «ХАИ», Харьков, Україна, e-mail: [a\\_orehov@rambler.ru](mailto:a_orehov@rambler.ru).

**Плахтеев Павел Анатольевич** – молодший науковий співробітник, Харьковський національний автомобільний університет, Харьков, Україна.