

УДК 630: 614.841.42

АНАЛИЗ ПЕРСПЕКТИВНЫХ ФИЗИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ОБНАРУЖЕНИЯ ВОЗГОРАНИЙ

Шегельман И.Р., Галактионов О.Н., Когочев А.Ю., Попов А.С.

ФГБОУ ВО «Петрозаводский государственный университет»,

Петрозаводск, e-mail: ong66@mail.ru

Статья посвящена обнаружению очагов лесных пожаров, в частности анализу методов их обнаружения. Разработан метод анализа способов обнаружения лесных пожаров. Метод заключается в определении информационной насыщенности признаков лесного пожара. Информационная насыщенность признака представляет собой точность оценки характеристик лесного пожара – дальности, скорости распространения, интенсивности. На этой основе построена оценка физических методов обнаружения лесных пожаров. Для разработки методики анализа проведен обзор применяемых и перспективных методов обнаружения лесного пожара. В базе методов приведены распространенные методы и единично упоминаемые в исследованиях. Учтены органолептические и инструментальные методы обнаружения лесного пожара. Создание шкалы измерений позволило оценить ряд методов обнаружения лесных пожаров. Для этого выявлены физические методы, используемые в приборе или установке, и оценена их информационная насыщенность. Аналогичные оценки проведены для перспективных методов обнаружения пожаров. Установлены наиболее информационно нагруженные признаки лесного пожара. Для информационно нагруженных признаков выполнен аналитический обзор современных методов определения пожара. Наибольшую информационную насыщенность имеет анализ открытого пламени. Вторым по информационной насыщенности является инфразвук, возникающий при взаимодействии воздушных потоков разной температуры. Для оценки характеристик лесного пожара и принятия оперативных решений непосредственно в очагах, следует использовать указанные два признака. В условиях космического мониторинга для оценки состояния лесных пожаров следует использовать более широкий набор физических методов, например анализ состояния атмосферы. Таким образом, для увеличения запаса времени при принятии решений пожарными бригадами целесообразно использовать анализ пламени и инфразвука. Предлагаемая методика оценки пожаров позволяет формировать систему датчиков соответствующих условиям работы пожарных бригад и эксплуатации защищаемого оборудования.

Ключевые слова: лесные пожары, возгорания, признаки пожара, ущерб, методы обнаружения пожара

REVIEW AND ASSESSMENT OF ADVANCED PHYSICAL METHODS OF FIRE DETECTION

Shegel'man I.R., Galaktionov O.N., Kogochev A.Yu., Popov A.S.

Petrozavodsk State University, Petrozavodsk, e-mail: Ong66@mail.ru

The article is devoted to the detection of forest fires, in particular, the analysis methods for their detection. Developed methods of analysis techniques for the detection of forest fires. The method consists in determining the saturation of information signs of a forest fire. Information saturation characteristic is the accuracy evaluation of forest fire characteristics – range, a rate of spread, intensity. On this basis, a physical evaluation of methods to detect forest fires. To develop the methods of analysis used and reviewed the promising methods of forest fire detection. The database methods list common methods and sporadically mentioned in the studies. Taken into account sensory and instrumental methods for the detection of forest fires. Creating a measurement scale allowed us to estimate the number of methods to detect forest fires. To this end, revealed the physical methods used in the device, or install, and evaluated their information saturation. Similar estimates were made for the promising methods of fire detection. Installed more information loaded with signs of the forest fire. For the information of loaded features made an analytical review of modern methods for determining fire. The highest information richness is an open flame test. The second is information saturation infrasound produced by the interaction of air streams of different temperatures. To evaluate the characteristics of a forest fire and operational decision-making directly in the focus should use these two features. In the context of satellite monitoring to assess the status of forest fires should be used over a wide range of physical methods, such as analysis of the state of the atmosphere. Thus, to increase the time available for decision-making should be used by fire brigades and fire analysis of infrasound. The proposed assessment methodology fires allow forming the sensor systems corresponding to the conditions of work of fire brigades and operation of protected equipment.

Keywords: forest fires, fire, signs of fire, damage, fire detection methods

Своевременное обнаружение и предотвращение лесных пожаров входит в число наиболее серьезных и все еще нерешенных вызовов, стоящих перед жителями не только регионов России, но и целых стран. Качественный мониторинг, обеспечивающий своевременное обнаружение лесных пожаров, может позволить предотвратить развитие чрезвычайных ситуаций федерального, регионального и муниципального масшта-

ба, а также снизить глобальные последствия выбросов углекислого газа, золы и сажи.

Ежегодно в Российской Федерации регистрируется от 10 до 35 тысяч лесных пожаров, которые охватывают площади от 0,5 до 2,5 млн га [7].

Потери древесины на корню после лесного пожара оцениваются в среднем в 27 млн м³ [7]. С учетом рыночной стоимости круглой древесины экономической

ущерб от лесных пожаров можно оценить минимум в 1,35 млрд руб.

Ущерб от лесного пожара не исчерпывается видимыми последствиями в виде гарей. Последствия включают: урон лесной фауне, упущенную прибыль от произведенной товарной продукции, ущерб объектам промышленности и населенным пунктам, а также затраты непосредственно на тушение пожаров. В 2009 году на борьбу с лесными пожарами в России регионам было выделено 3 млрд руб. [7]. При этом ущерб от лесных пожаров в том же году составил 18 млрд руб. Ущерб от лесных пожаров в 2016 году составил почти 22 млрд руб. Из освоенных 21,8 млрд руб. непосредственно на тушение пожаров было потрачено 19,3 млрд руб.

Ущерб от пожара растет пропорционально квадрату времени его существования [5], следовательно, быстрое его обнаружение приведет к эффективной локализации и тушению. Учитывая это, очевидно, что очень важно обнаружить лесной пожар на началь-

ной стадии, определить его точное местоположение за более короткие сроки.

Цель исследования – разработать методику и выполнить анализ современных методов обнаружения возгораний, а также оценить их перспективность для разработки систем защиты и предупреждения личного состава противопожарных подразделений о критическом состоянии окружающей среды.

Основные задачи исследования: выявить современные физические методы обнаружения лесных пожаров, оценить перспективность выявленных методов по критериям энергопотребления и информативности.

Выделим следующие группы методов выявления возгораний: органолептические и инструментальные. На основе анализа широкого спектра научно-технической и патентной информации, а также паспортных данных приборов в табл. 1 обобщены современные методы определения признаков возгораний и приведены данные по чувствительности приборов, используемых для реализации этих методов.

Таблица 1

Методы определения возгораний

Признаки возгорания								
Определяемые органолептически				Определяемые инструментально				
Видимые	Обоняемые (запах)	Осязаемые	Слышимые	Химические			Физические	
Огонь (6–8 км)	Древесина (≈ 150 км)	Ощущение тепла (1 км)	Треск горящего дерева (0,8–1 км)	Специфические вещества (0,027%)	Изменение состава	Температура (низовой пожар 200–300°C, верховой 900–1200°C)	Состав	Излучение (15–40 кВт/м ²)
Дым (1–14 км)	Торф (≈ 150 км)	Ощущение потока воздуха (1–2 км)	Ревущий звук (3–5 км)	Углекислый газ (160–200 мг/м ³)	Уровень CO ₂ в атмосфере (160–200 мг/м ³)	Контактная (определяется температурой разрушения датчика)	Сажа	Пламя
Конвекционные колонки (1 км)	Смола (≈ 150 км)	Резь в глазах	Треск камней	Угарный газ (25–30 мг/л)		Бесконтактная (до 2500°C)	Зола (0,5–2%)	Конвекционный поток
				Метан (4,55 г/кг)			Спектральный анализ удаленной атмосферы	Отраженный
				Продукты пиролиза древесины			Спектральный анализ местной атмосферы	

Классификация специфических признаков пожаров позволяет охарактеризовать их по ряду параметров: расстояние, направление, интенсивность, скорость движения. Рассмотрим потенциал признаков пожара по возможности оценки названных параметров – информативность. Для оценки пара-

метров используем следующие обозначения информативности: если можно указать величину параметра, то информативность 1, если нельзя указать величину параметра, то информативность –1, если параметр можно определить при выполнении дополнительных условий, то информативность 0.

Таблица 2

Информационная нагруженность признаков пожара

Способ определения	Признак	Параметры пожара					Частота анализа параметров	Сумма по признакам с учетом информационной насыщенности
		Расстояние	Направление	Интенсивность	Скорость движения фронта	Фаза пожара		
Органолептически	Огонь	1	1	1	0,5	1	1	1,96
Органолептически	Треск горящего дерева	1	1	1	0	1	1	1,91
Органолептически	Ревущий звук	1	1	1	0	1	1	1,91
Органолептически	Искры	1	0,5	1	0,5	1	1	1,87
Органолептически	Ощущение тепла	1	1	0,5	0	1	1	1,79
Органолептически	Запах горящей кроны	1	0	1	0	1	1	1,75
Органолептически	Ощущение потока воздуха	1	1	0	0	1	1	1,67
Инструментально	Воздействие на солнечный свет	1	0,5	0	0	1	1	1,59
Органолептически	Дым	0,5	1	0,5	0,5	0,5	1	1,58
Инструментально	Излучение от пламени	1	1	1	1	1	0,5	1,50
Инструментально	Излучение от конвекционного потока	1	1	1	1	1	0,5	1,50
Органолептически	Треск камней	1	0	1	0	0	1	1,50
Инструментально	Контактная температура	1	1	1	0,5	1	0,5	1,46
Инструментально	Бесконтактная температура	1	0,5	1	1	1	0,5	1,42
Инструментально	Продукты пиролиза древесины	0,5	0	1	0,5	0	1	1,41
Органолептически	Запах горящей древесины	1	0	0	0	0,5	1	1,38
Органолептически	Конвекционные потоки	0	0	1	0,5	0	1	1,28
Органолептически	Запах горящего торфа	1	0	0	0	0	1	1,26
Органолептически	Резь в глазах	1	0	0	0	0	1	1,26
Инструментально	Угарный газ	0,5	0	0	0	0,5	1	1,25
Инструментально	Углекислый газ	0	0	0,5	0	0,5	1	1,24
Инструментально	Метан	0	0	0,5	0	0,5	1	1,24
Инструментально	Изменение уровня CO ₂ в атмосфере	0,5	0,5	1	0,5	1	0,5	1,24
Инструментально	Изменение уровня O ₂ в атмосфере	0,5	0,5	1	0,5	1	0,5	1,24
Инструментально	Сажа	1	0,5	1	0	0,5	0,5	1,20
Инструментально	Зола	1	0,5	1	0	0,5	0,5	1,20
Инструментально	Воздействие на магнитное поле	0,5	0,5	0,5	0	1	0,5	1,08
Инструментально	Анализ местной атмосферы	1	1	1	1	1	0	1,00
Инструментально	Излучение отраженное	0,5	0	0,5	0	1	0,5	1,00
Инструментально	Анализ удаленной атмосферы	1	0,5	1	0,5	1	0	0,87
Инструментально	Воздействие на воздушные потоки	0,5	0,5	1	0	1	0	0,70
Инструментально	Воздействие на атмосферные токи	0,5	0,5	0,5	0	1	0	0,58
Сумма по параметрам		245	155	22,5	8,5	23,5	23	43,85

Определим информационную насыщенность признаков следующим образом. В предположении использования всех признаков для всех параметров пожара просуммируем установленные теоретические уровни информативности признаков для определения параметров лесного пожара – суммирование по строкам табл. 2.

В результате получим возможность оценки того или иного параметра пожара. Как видно из анализа, лучше всего при этом оценивается расстояние до пожара, хуже всего – скорость движения пожара.

Рассчитаем коэффициент учитывающий силу оценки отдельного параметра пожара, в предположении использования всех перечисленных признаков, т.е. разделим накопленные суммы информативности по параметрам пожара (суммирование по столбцам табл. 2) на сумму общей информативности (сумма в последней строке табл. 2). Используем полученные коэффициенты для коррекции информативности признаков.

Информативность признака позволяет делать выводы о его ценности для анализа пожара и выбора физических принципов для разработки технических решений. На основании проведенных расчётов видно, что наиболее нагруженные признаки пожара – это огонь, треск горящего дерева, ревуший звук, искры, ощущение тепла. Кроме того, она позволяет оценить и, следовательно, классифицировать приборы и методы измерения параметров пожара относительно друг друга.

Наличие этих признаков говорит о большой вероятности возникновения и наличия лесного пожара на местности. Наиболее информативный и точный признак пожара – это видимый огонь. Наличие огня позволяет безошибочно определить наличие пожара, направление на него, интенсивность и направление движения.

По нашему мнению, в условиях мониторинга, предотвращения и тушения лесного пожара дополнительно нагружать органы чувств человека, а особенно членов бригады пожарных, для определения потенциальной опасности нецелесообразно. Поэтому конечный обзор проведен только для инструментальных способов контроля угроз.

Рассмотрим наиболее перспективные решения в области обнаружения лесных пожаров по выявленным и отобраным нами признакам.

Оценим методы обнаружения лесных пожаров по видимому пламени.

Метод выявления лесных пожаров по аэрокосмическим снимкам приведён в [4],

обнаружение лесного пожара происходит путем анализа яркости в спектральных каналах. Основой метода является последовательное контрастирование, сегментация, определение характеристик текстуры, привязка координат очагов, соответственно метод требует существенных вычислительных мощностей и гарантированного канала связи.

В работе [2] предлагается выявлять возгорания лесных площадей при помощи космического мониторинга. Для выявления возгораний используют снимки, полученные спектрометрами MODIS и LANDSAT, в видимом и инфракрасном диапазонах. Производится анализ яркости растительности в инфракрасной зоне, и по ее изменению определяются очаги. Возможности использования в реальной обстановке аналогичны предыдущему случаю.

Оценим методы обнаружения лесных пожаров по температуре, определяемой бесконтактным способом.

В работе [3] предлагают использовать снимки, получаемые спутниками TERRA и AQUA (спектрометр MODIS), спутником NOAA (спектрометр AVHRR), для выявления лесных пожаров. Обнаружение возгораний происходит по достижению критической температуры: если температура в точке достигла 360 К, то она классифицируется как очаг.

В работе [1] авторы для выявления лесного пожара используют данные дистанционного зондирования. Метод заключается в использовании данных низкого разрешения (Spot-Vegetation). Для мониторинга используют ближнюю инфракрасную и красную области спектра. На основе анализа рассчитывают индекс NDVI (нормализованный вегетационный индекс), который позволяет выявлять лесные пожары.

В настоящее время выпускается большое разнообразие приборов – инфракрасных пирометров. Например, инфракрасный пирометр ADA TemPro 550 A00223, обеспечивает бесконтактное измерение температуры с точностью до $\pm 1,5^\circ$ на расстояниях до 500 м. Устройства этого типа компактны, позволяют проводить быстрые замеры, неэнергоёмки.

В патенте RU 2549507 («Сигнализатор возгорания») описано изобретение, относящееся к устройствам пожарной сигнализации и используемое в системах распределенного контроля протяженных пожароопасных объектов. При расчете по предложенной методике информативность данных составит 1,91.

В источнике [6] описываются датчики, определяющие пульсации ИК-излучения пламени. Данный датчик обеспечит информативность 1,50.

В патенте RU 2537804 («Способ раннего обнаружения пожара и устройство для его реализации») описывается способ и устройство, для обнаружения тления и возгорания горючих материалов на ранней стадии путем анализа газового состава атмосферы. Устройство формирует данные с коэффициентом информативности 1,46.

В патенте RU 114547 описывается извещатель пламени, который фиксирует инфракрасное и ультрафиолетовое излучение. Извещатель имеет информативность 1,50.

В патенте RU 2443023 («Инфракрасный трехспектральный извещатель пламени») предлагается прибор, предназначенный для обнаружения очагов детекцией электромагнитного излучения пламени. Информативность данного прибора составит 1,42.

Анализ показал, что перспективным методом для разработки перспективных устройств для обнаружения возгораний в лесных массивах является анализ видимого и инфракрасного спектров пожароопасных областей. Анализ газового состава актуален для закрытых помещений.

Проведенный анализ показал, что для оценки состояния лесной среды и принятия решений по действиям пожарной бригады целесообразно использовать датчики следующих типов: радиометрические пирометры, анализаторы звука.

Разработана методика анализа параметров лесного пожара и применена для оценки информативности приборов применяемых для слежения за лесными пожарами.

Наиболее перспективным методом анализа оперативной обстановки является поиск и анализ открытого пламени, которое производит широкий спектр излучения и, следовательно, доступно для обнаружения различными средствами.

В комплексе с анализом открытого пламени может использоваться анализ специфических для пожаров звуковых сигналов. В этом случае анализ звука обеспечивает дальное действие системы, а пламени высокую эффективность анализа параметров пожара.

Разработанная методика оценки параметров пожара по его признакам позволяет разрабатывать системы датчиков в соответствии с условиями работы пожарных расчетов и эксплуатации защищаемого оборудования.

Список литературы

1. Елсаков В.В. Использование данных дистанционного зондирования низкого разрешения в оценке временных изменений растительного покрова / В.В. Елсаков, В.М. Шанов, К.Щулепов // Вестник института биологии Коми научного центра Уральского отделения РАН. – 2005. – № 6(92). – С. 2–6.
2. Ерискина Т.О. Разработка методов применения спутниковой информации в мониторинге территорий, подверженных лесным пожарам // Устойчивое развитие регионов в бассейнах великих рек. Приоритеты в условиях глобальных изменений: материалы конгресса, в рамках 17-го международного научно-промышленного форума «Великие реки-2015». – 2015. – С. 471–472.
3. Карпов А.А. Технологии определения природных пожаров с использованием данных спутниковой съемки / А.А. Карпов, Р.А. Алешко, К.В. Шошина // Молодой ученый. – 2015. – № 13.1. – С. 17–19.
4. Колесенков А.Н. Методика интеллектуального обнаружения, моделирования и сопровождения пожаров / А.Н. Колесенков, Б.В. Костров, В.Н. Ручкин // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2015. – № 5–2. – С. 266–274.
5. Кудрявцев М.Ю. Управление рисками лесных пожаров на территории Российской Федерации / М.Ю. Кудрявцев, В.В. Лукин, Г.Г. Малинецкий, Н.А. Митин, С.А. Науменко, А.В. Подлазов, А.А. Румянцев, С.А. Торопыгина. – URL: http://www.keldysh.ru/papers/2008/prep35/prep2008_35.html (дата обращения: 12.10.2016).
6. Пожарный извещатель пламени [Электронный ресурс]. – Электрон. – URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Пожарный_извещатель_пламени – свободный. – Яз.рус. – (Дата обращения: 8.09.2016).
7. Шегельман И.Р. К постановке задачи создания интеллектуальной системы управления процессами тушения лесных пожаров / И.Р. Шегельман, Л.В. Щеголева // ИВД. – 2015. – № 1–2. – URL: <http://cyberleninka.ru/article/n/k-postanovke-zadachi-sozdaniya-intellektualnoy-sistemy-upravleniya-protsessami-tusheniya-lesnyh-pozharov> (дата обращения: 12.10.2016).