

*С.В. Никольский¹, Е.И. Николаев¹, А.А. Чухланцев², А.А. Халдин³,
В.Ю. Светличный³, В.В. Леушин⁴, С.И. Воронов⁵*

*(¹НПО "Инженерные системы", ²ФирЭ им. В.А. Котельникова РАН,
³ФГУП СКБ ИрЭ РАН, ⁴МФ САО РАН, ЮФУ, ⁵ИБРАЭ РАН; e-mail: timenik@yandex.ru)*

КОМПЛЕКС ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ С ВЫШЕК ОЧАГОВ ВОЗГОРАНИЯ ЛЕСНЫХ МАССИВОВ С РАДИОАКТИВНЫМ ЗАРАЖЕНИЕМ

Приведено описание оригинального панорамного радиометрического комплекса, интегрированного с оптической и тепловизионной аппаратурой мониторинга и предназначенного для раннего обнаружения очагов возгорания в лесных массивах, подвергшихся радиоактивному заражению.

Ключевые слова: радиометрия, обнаружение очагов лесных пожаров.

*S.V. Nikolskij, E.I. Nikolaev, A.A. Chukhlantsev, A.A. Khaldin,
V.Yu. Svetlichny, V.V. Leushin, S.I. Voronov*

A COMPLEX FOR DETECTION OF FIRES IN FORESTED AREAS WITH RADIOACTIVE CONTAMINATION FROM TOWERS

The description of the original panoramic radiometric complex, integrated with video and infrared monitoring equipment and designed to early detection of fires in forested areas exposed to radioactive contamination is given.

Key words: radiometry, forest fire detection.

Статья поступила в редакцию Интернет-журнала 3 августа 2013 г.

Введение

Лесные пожары относятся к чрезвычайно опасным явлениям, что предопределяет актуальность разработки методов и систем для их раннего обнаружения [1]. Данная задача особенно важна для лесных территорий с радиоактивным заражением ввиду особой трагичности последствий пожаров на таких территориях.

Для обеспечения пожарной охраны леса осуществляется мониторинг лесных пожаров, который по способам подразделяется на космический, авиационный и наземный.

Применение *спутниковой съемки* для оперативного выявления очагов локального возгорания на радиационно зараженных территориях лесных массивов в реальном времени является неэффективным в связи с низким пространственным разрешением.

Авиационное обследование лесов является мощным и оперативным инструментом для обнаружения очагов лесных пожаров [3]. Такой мониторинг особенно важен для труднодоступных территорий и районов. С летательных аппаратов проводятся визуальные наблюдения, тепловизионная и видеосъемка. Однако высокая стоимость аренды летательных аппаратов делает неэффективным их применение для каждодневного наблюдения в реальном времени

за особо опасными районами с радиоактивным заражением. Возможно, что для ежедневного мониторинга выбранных районов являлось бы перспективным использование дешевых беспилотных летательных аппаратов, которые, однако, в настоящее время для данной задачи не применяются.

Для раннего обнаружения пожаров используются и относительно дешевые методы визуального и инструментального *наблюдения с вышек*. В качестве приборов для обнаружения очагов применяются тепловизоры и видеокамеры. При этом в большинстве случаев обнаружение пожаров возложено на наблюдателей, находящихся на наблюдательных пожарных вышках и визуально осматривающих подконтрольную территорию или следящих за ней по монитору через видеокамеры. Влияние человеческого фактора при таком способе мониторинга значительно. Утрата внимания, отлучение с вышки, режим работы только в дневное время, ложные тревоги – все это не позволяет своевременно и с максимальной эффективностью обнаружить и ликвидировать очаги возгорания в радиоактивных зонах и задействовать пожарные расчёты. На эффективность обнаружения очагов с помощью приборов только оптического и инфракрасного диапазона влияют погодные условия, время суток, время года и другие факторы.

Изучение опыта применения известных технических средств и методик обнаружения пожаров, рассмотрение ресурсных ограничений и сложных правовых взаимоотношений в данной области указывает на необходимость создания локальных комплексов независимого мониторинга лесных массивов в реальном времени с передачей данных мониторинга в ЦУКС регионального управления МЧС или в ЕДДС.

Такой комплекс, представленный в данной работе, создан специалистами ООО "НПО Инженерные системы" совместно с СКБ ИРЭ РАН, ФИРЭ РАН, САО РАН, при содействии ИБРАЭ РАН, главного управления МЧС по Брянской области и ОРТПЦ Брянской области.

Назначение и состав комплекса

Система раннего оповещения о возникновении пожаров в зонах радиоактивного загрязнения предназначена для раннего обнаружения очагов возгорания природного и техногенного характера и обеспечивает:

- комплексный мониторинг состояния зон радиоактивного загрязнения;
- передачу информации на сервер ЦУКС МЧС области в реальном времени;
- отображение информации о состоянии контролируемых территорий;
- визуализацию зон наблюдения и процесса контроля;
- отображение направлений распространения опасных факторов пожара и продуктов горения из радиоактивной зоны;
- информирование соответствующих служб для планирования первоочередных мер по раннему обнаружению и ликвидации очага возгорания или пожара в радиоактивной зоне;
- сбор и хранение информации о состоянии технических средств и аппаратуры систем мониторинга раннего обнаружения в радиоактивных зонах.

Система включает в свой состав:

- аппаратно-программный комплекс для обеспечения мониторинга и раннего обнаружения очагов возгорания в радиоактивных зонах с информационной базой данных на основе ГИС-технологий;
- подсистему визуального наблюдения за участками лесной территории на основе интеллектуальной IP-видеокамеры;
- подсистему в составе аппаратуры инфракрасных наблюдений для сканирования выделенного пятна местности тепловизором, контроля температурного режима, его изменений, выявления связи временных темпов и величины возрастания температуры в зависимости от состояния окружающей среды;
- подсистему в составе опытного образца радиометра СВЧ-диапазона для регистрации температуры леса в зоне контроля, построения зависимости и связи временных темпов развития процесса ионизации и величины возрастания температуры до начала возгорания или в первоначальный период горения;
- каналы связи, аппаратура для передачи данных по Интернету.

Вся информация с видеокамеры, тепловизора и СВЧ аппаратуры через контроллер записывается на сервер, ЦУКС ГУ МЧС. Оператор АРМ имеет возможность удалённого обращения к аппаратуре контроля и информации записываемой на сервер.

Принцип работы комплекса

СВЧ-радиометр измеряет мощность излучения исследуемого объекта в телесный угол диаграммы направленности приемной антенны. Мощность теплового излучения в СВЧ-диапазоне принято выражать в яркостных температурах T_j (мощность на входе приемника связана с яркостной температурой известной формулой Найквиста). В свою очередь, яркостная температура исследуемого участка земной поверхности связана с его термодинамической температурой соотношением

$$T_j = \kappa T, \quad (1)$$

где T – абсолютная термодинамическая температура участка земной поверхности, измеряемая в градусах Кельвина и выражаемая через температуру в градусах Цельсия t соотношением

$$T = t + 273,15. \quad (2)$$

В (1) входит величина κ , которая называется коэффициентом излучения. Коэффициент излучения земных покровов варьирует в диапазоне 0,6-0,97, а для лесных массивов – в диапазоне 0,93-0,98.

В работе [4] показано, что интенсивность излучения лесного пожара максимальна в области длин волн 0,8-1,5 см. Эксперименты показали, что при отсутствии видимости мощного дымового шлейфа и сильной задымленности местности СВЧ-радиометрия позволяет уверенно обнаружить области горения и определить границы пожара. При этом приращение яркостной температуры очага пожара над уровнем излучения окружающего леса на длине волны 0,8 см составляет до 200 °K. Выводы работы [4] подтверждены последними исследованиями в области СВЧ-радиометрии лесных пожаров [5].

Волны СВЧ-диапазона хорошо проникают через облачный покров и растительность, что дает преимущество СВЧ-радиометрии, по сравнению с инфракрасной съемкой. Однако недостатком СВЧ-радиометрии является низкое пространственное разрешение, определяемое произведением ширины диаграммы направленности приемной антенны СВЧ-радиометра на расстояние до объекта. Этот недостаток снижает эффективность использования метода с космических носителей и с высоколетящих авиационных носителей. В то же время, при наблюдении с вышек при угле диаграммы направленности антенны в 1° пространственное разрешение по азимуту будет составлять от 17 м (на дальности в 1 км) до 170 м (на дальности в 10 км), что является достаточным для обнаружения температурной аномалии в собственном тепловом излучении, связанной с возгоранием леса.

Состав СВЧ-радиометра, который входит в интегрированный комплекс раннего обнаружения очагов возгорания в лесных массивах, подвергшихся радиоактивному заражению, монтируемый на вышках, приведён на рис. 1.

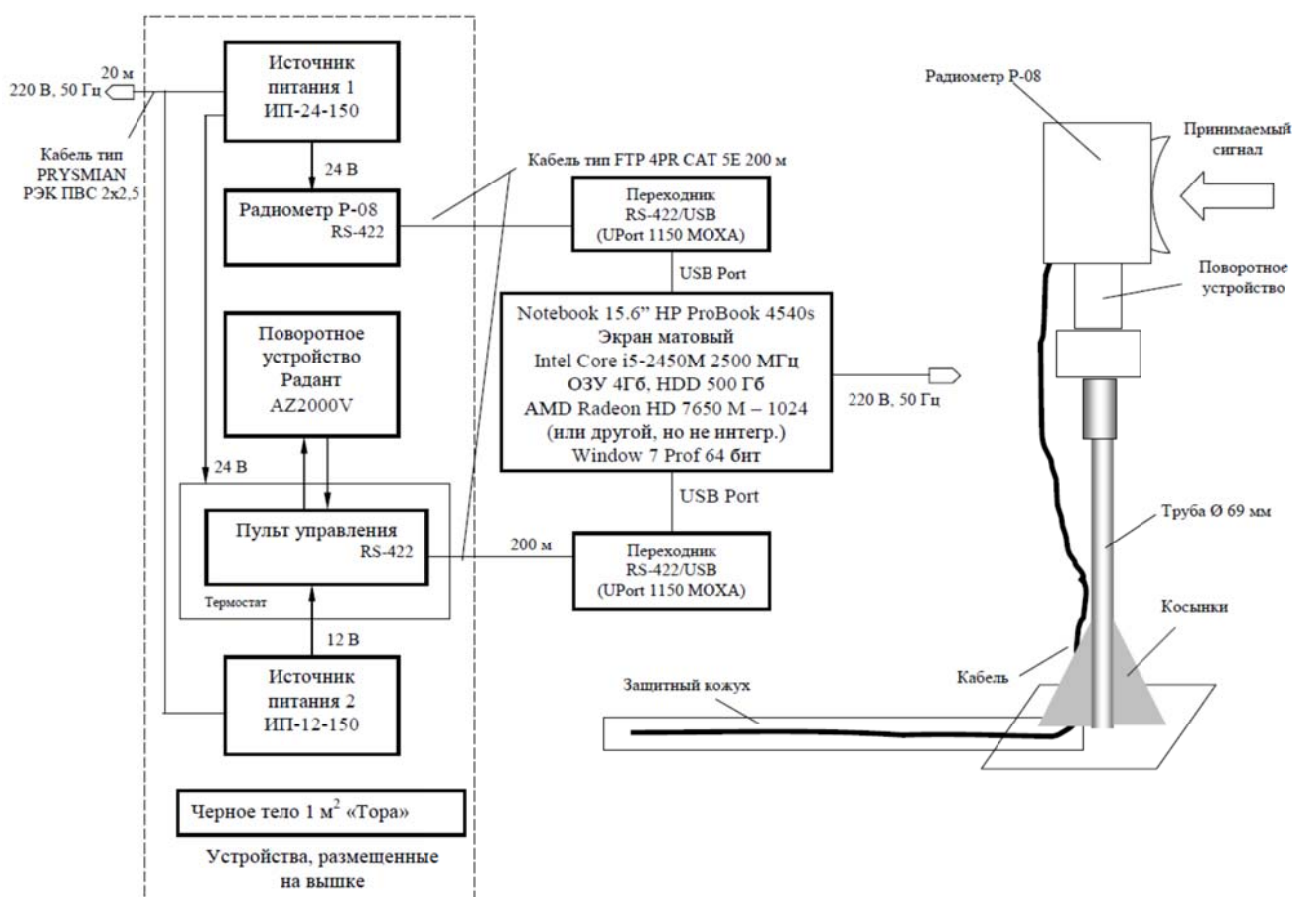


Рис. 1. Блок схема радиометра

Испытания СВЧ-радиометра в составе комплекса проведены в Брянской области весной 2013 г. Комплекс был установлен на телевизионной вышке ОРТПЦ города Новозыбков на высоте 80 м (рис. 2).



Рис. 2. Радиометр в составе комплекса на телевышке Новозыбкова

Радиометр проводит панорамные измерения в диапазоне изменений углов по азимуту $0-270^\circ$ и по углу места, отсчитываемого от горизонтали, $0-5^\circ$. Геометрия обзора представлена на рис. 3.

В зависимости от угла места длина "пятна" диаграммы направленности приемной антенны на местности составляет от 300 м (угол места 5°) до 10 и более км (угол места 0°). Длина "пятна" диаграммы направленности выводится на рабочем дисплее. Ширина "пятна" диаграммы на местности составляет от 20 м (угол места 5°) до 170 м (угол места 0°). Для каждого угла места радиометр осуществляет сканирование по азимуту с шагом 1° . Таким образом, для каждого угла места записывается и отображается на рабочем дисплее зависимость сигнала радиометра от угла места. Пример такой записи на рабочем дисплее приведен на рис. 4.

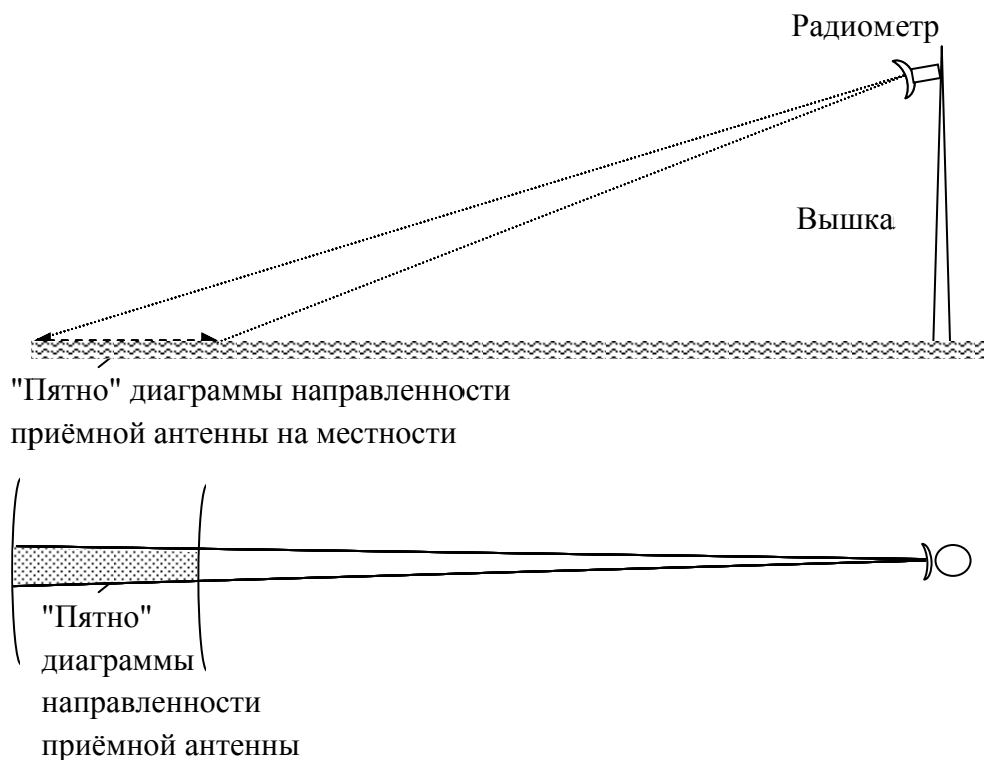


Рис. 3. Геометрия обзора радиометра обнаружения пожаров

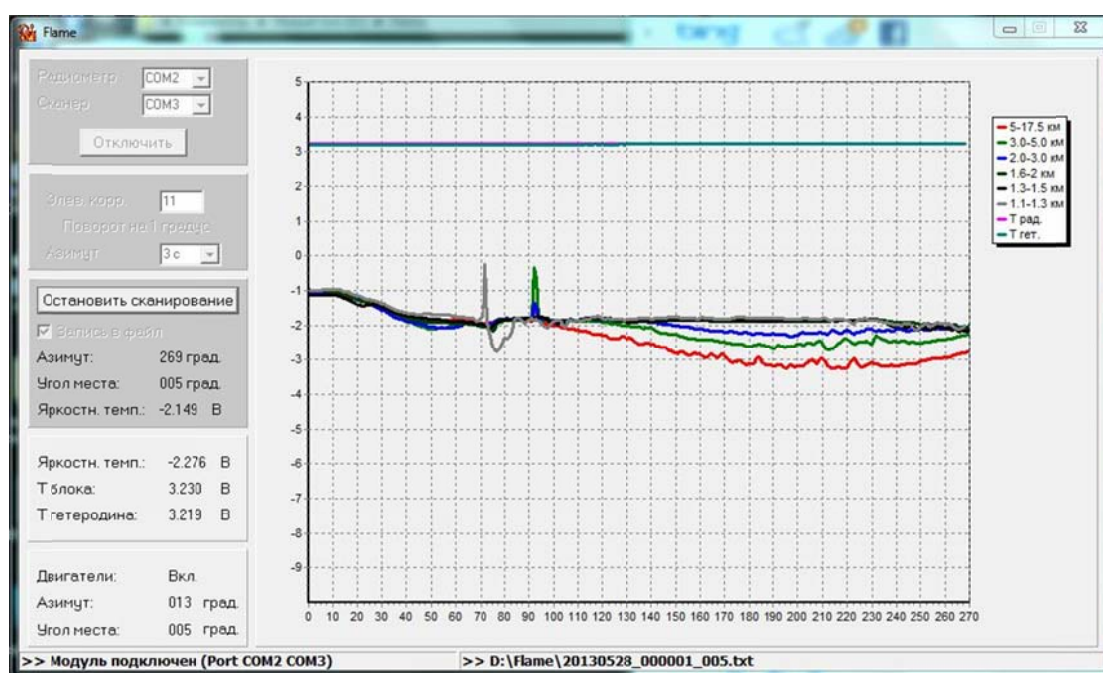


Рис. 4. Пример записи сигнала радиометра на рабочем дисплее в зависимости от азимутального угла для различных углов места

Особенности радиометрического метода обнаружения очагов пожаров с вышек

Измерения яркостной температуры проводятся для одного и того же участка земной поверхности несколько раз в течение суток. При этом коэффициент излучения земной поверхности за указанный промежуток времени практически не изменяется. Изменения яркостной температуры определяются только лишь вариациями термодинамической температуры исследуемого участка земной поверхности, которая резко возрастает при появлении очага возгорания.

Значения выходного напряжения радиометра U в вольтах (эти значения приведены на рис. 4 по оси ординат) связаны с величиной яркостной температуры исследуемого участка земной поверхности линейной зависимостью

$$U = aT_{\text{я}} + b. \quad (3)$$

Коэффициенты a и b не могут быть определены с достаточной точностью заранее при изготовлении радиометра, что, в принципе, позволило бы выводить на дисплей данные измерений не в вольтах, а непосредственно в яркостных температурах. Это связано с тем, что на величины этих коэффициентов влияет конкретное расположение радиометра и его антенны на вышке.

Особенностью реализуемого метода измерений является "калибровка" радиометра по излучению эталонного излучателя – чёрного тела, яркостная температура которого равна его термодинамической температуре. Такая калибровка проводится в начале каждого скана. Процесс такой калибровки изображен на рис. 5.



Рис. 5. Калибровка по черному телу проходит в начале каждого скана

Термодинамическая температура черного тела меняется в течение суток и с высокой точностью равна температуре окружающего воздуха. По значениям выходного напряжения, соответствующим двум значениям температуры черного тела, определяются коэффициенты a и b и осуществляется пересчет значений выходного напряжения в значения яркостных температур. При этом с учётом отмеченной выше малой изменчивости коэффициента излучения становится возможным измерение абсолютных значений вариаций термодинамической температуры исследуемых участков земной поверхности.

Пример записи сигнала радиометра для одного и того же угла места 3 в период времени с 11 ч. 42 мин. 28 мая 2013 г. по 14 ч. 39 мин. 29 мая 2013 г. приведён на рис. 6. Для данного угла места получено 8 сканов.

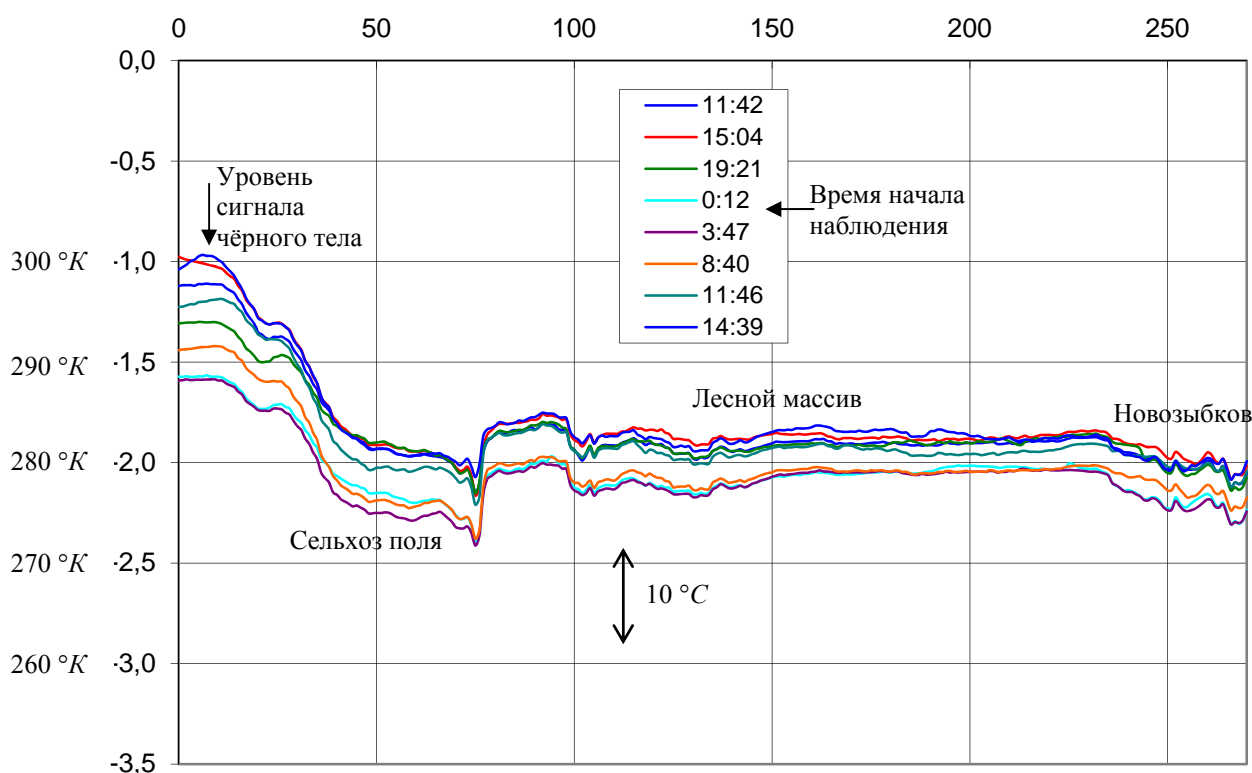


Рис. 6. Пример записи сигнала

Максимальный уровень сигнала черного тела наблюдался днём 29-го, минимальный – ночью с 28-го на 29-е (3:47). Температура воздуха днём составляла $22\text{ }^{\circ}\text{C}$, ночью – $10\text{ }^{\circ}\text{C}$. Таким образом, значение выходного сигнала -1 В соответствует яркостной температуре $299\text{ }^{\circ}\text{K}$, а $-1,7\text{ В}$ соответствует яркостной температуре $283\text{ }^{\circ}\text{K}$. Примерная шкала яркостных температур приведена слева. Также на рисунке приведен перепад сигнала, соответствующий абсолютному изменению температуры земной поверхности на $10\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Проведение 7-8 измерений яркостной температуры лесного массива за сутки позволяет получить "тепловой" портрет данного массива и его изменение в течение суток. При этом отчетливо выявляется суточная динамика термодинамической температуры данного лесного массива.

Так как используемый метод измерений базируется на постоянном ежесуточном мониторинге температурного режима одних и тех же участков лесной территории, то такие портреты формируются на каждые сутки и дают представление о температурном режиме, соответствующем спокойному функционированию данного участка.

Если в процессе измерений в тепловом портрете данного лесного массива будут наблюдаться аномалии, то есть локальные превышения термодинамической температуры над характерным суточным ходом температуры для данного участка, то это будет свидетельствовать о тепловых аномалиях на данном участке леса. Если данные аномалии по величине будут превышать суточные вариации температуры для данного участка, то это дает основание для проведения проверки состояния данного участка леса на предмет возгорания.

Интегрирование данных СВЧ-измерений с данными видеокamеры и тепловизора

В системе используется видеосъемка территории, позволяющая визуально выявлять очаги возгорания на контролируемой территории по появлению дыма. Кроме видеокamеры используется инфракрасная камера (тепловизор), которая способна выявлять малые контрасты температур. Эти различия температур преобразуются в видеоизображение в реальном масштабе времени. Видеоизображение, отображаемое на мониторе, используется для выявления аномальных температурных контрастов на контролируемой территории, таким образом дополняя данные радиометрической съемки в части более точной локализации очагов возгорания.

Выводы

Приведено описание и результаты испытаний комплекса аппаратуры для раннего обнаружения очагов пожаров в лесных массивах с вышек. Показано, что комплекс позволяет выявлять температурные аномалии и измерять температурные контрасты на контролируемой территории с точностью, составляющей десятые градуса. Данная точность дает возможность уверенного обнаружения очагов возгорания. Комплекс оснащён видеокamерой и тепловизором для визуального контроля территории и точной пространственной локализации обнаруженных очагов возгорания.

Результаты пробной эксплуатации опытного образца интегрированного комплекса указывают на перспективность использования подобных комплексов с использованием вышек операторов мобильной связи, ОРТЩ и вышек службы лесоохраны.

Литература

1. **Коровин Г.Н., Исаев А.С.** Охрана лесов от пожаров как важнейший элемент национальной безопасности России // Лесной бюллетень, № 8-9, 1998.
2. **Информационная** система дистанционного мониторинга лесных пожаров Федерального агентства лесного хозяйства РФ (состояние и перспективы развития) / Барталев С.А., Ершов Д.В., Коровин Г.Н. и др. // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2008. Т. 2. № 5. С.419-429.
3. **Коровин Г.Н., Андреев Н.А.** Авиационная охрана лесов. М.: Агропромиздат, 1988, 223 с.
4. **О применении** СВЧ-радиометрии к исследованию лесных пожаров / Бородин Л.Ф., Кирдяшев К.П., Стаканкин Ю.П., Чухланцев А.А. // Радиотехника и электроника. Т. 21. № 9. 1976. С. 1945-1950.
5. **СВЧ-радиометрическая** модель очага возгорания лесного пожара / Саворский В.П., Каевицер В.И., Кибардина И.Н., Маклаков С.М., Панова О.Ю., Чухланцев А.А. // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. Т. 9. № 1. 2012. С. 137-144.