

Система радиомониторинга лесных пожаров и возгораний торфяников

Determination of characteristics of system of ecological monitoring

Ключевые слова: система мониторинга – monitoring system; диаграмма направленности – direction pattern; антенная система – antenna system; очаг обнаружения – detection focus; радиометрическая система – radiometric system; очаг возгорания – hot spot.

В данной статье рассмотрены характеристики систем мониторинга лесных и торфяных пожаров на базе радиометрической системы, расположенной на борту беспилотного летательного аппарата. Определены зависимости характеристик обнаружения границ очагов возгораний от скорости движения летательного аппарата, ширины диаграммы направленности антенной системы, размеров обнаруживаемого очага.

In this paper devoted research of characteristics of system of monitoring of wood and peat fires by using of radiometric equipment established onboard pilotless small-sized flying device. Characteristics of detection of zones of ignition are defined.

Структурная схема обнаружителя возгораний на базе радиометрических измерений приведена на рис. 1.

Функцию временного селектора в системе выполняет бортовой контроллер радиометра, производящий привязку процедуры измерения к географическим координатам беспилотного летательного аппарата (БПЛА). Как было показано выше, сигнал на выходе радиометра представляет собой случайный процесс с законом распределения, близким к нормальному. Дисперсия распределения определяется точностными характеристиками радиометра, а математическое ожидание – яркостной температурой фоновой подсветки T_ϕ в случае отсутствия очага возгорания в зоне анализа или величиной $T_\phi + T_n$, зависящей от характера объекта, в противном случае.

Сигнал обнаружения формируется схемой, в случае превышения принятой реализацией случайного процесса порога C . Вероятность ложного

НИКИТИН / NIKITIN O.

Олег Рафаилович

(nikitin@mail.ru)
доктор технических наук,
профессор,
заведующий кафедрой
Владимирского государственного
университета,
Владимир

АРХИПОВ / ARCHIPOV E.

Евгений Анатольевич

(olnik@mail.ru)
кандидат технических наук,
доцент Владимирского государственного
университета,
Владимир

обнаружения равна вероятности превышения порогового уровня C при условии отсутствия сигнала:

$$F = \int_C^\infty W_\phi(T_j) dT_j.$$

Вероятность правильного обнаружения:

$$D = \int_C^\infty W_{fn}(T_j) dT_j.$$

Характер поведения плотностей вероятности $W_\phi(T_j)$ и $W_{fn}(T_j)$, а также площади, иллюстрирующие соответствующие вероятности, показаны на рис. 2.

Учитывая нормальный характер законов распределения, можно вычислить соответствующие характеристики обнаружения:

$$F = 0,5 \left[1 - \Phi \left(\frac{T_\phi + C}{\Delta T} \right) \right],$$

$$D = 0,5 \left[1 - \Phi \left(\frac{T_\phi + T_n + C}{\Delta T} \right) \right],$$

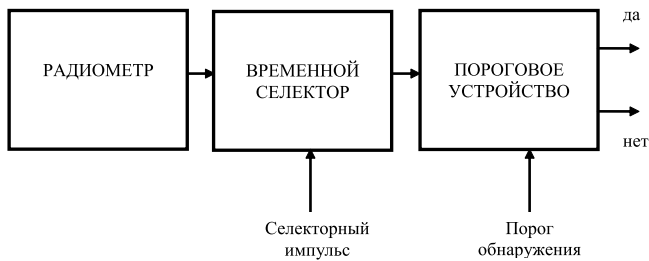


Рис. 1

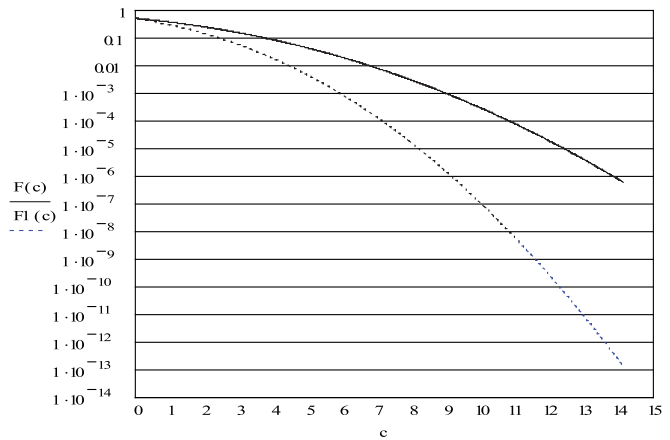


Рис. 3

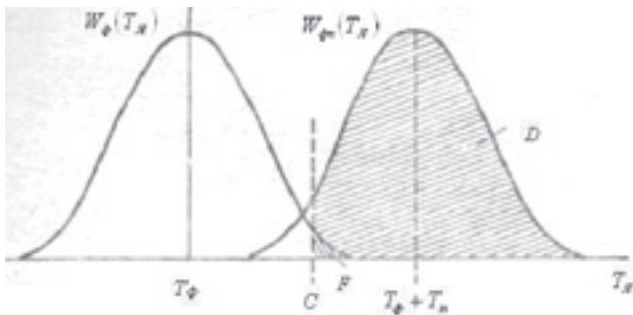


Рис. 2

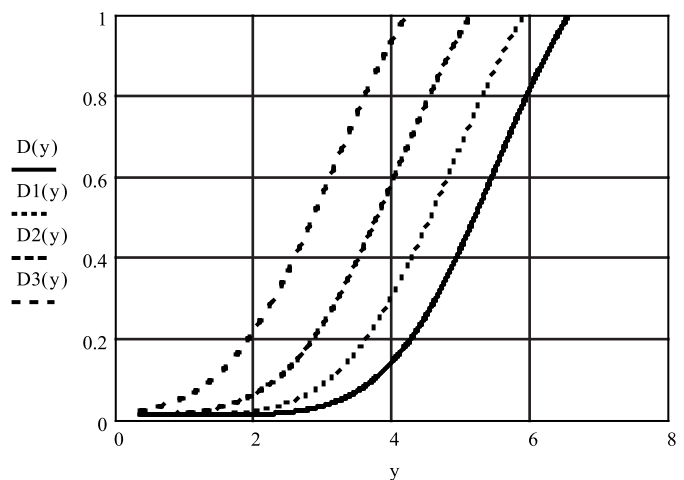


Рис. 4

где $\Phi(y) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^y \exp(-t^2) dt$ – интеграл вероятности.

На рисунке 3 приведены зависимости вероятности ложного обнаружения от величины порога C для различных значений среднеквадратической погрешности радиометра $\Delta T = 2^\circ \text{ К}$ (сплошная кривая) и 3° К (пунктирная) для $T_\phi = 250^\circ \text{ К}$. На рисунке 4 показано семейство зависимостей вероятности правильного обнаружения от параметра обнаружения $y = T_n/\Delta T$ для различных значений вероятности ложного обнаружения $F = 0,01; 0,001; 0,0001; 0,00001$ и $\Delta T = 3^\circ \text{ К}$.

Анализ приведенных зависимостей показывает, что для достоверного обнаружения необходимо иметь значение параметра обнаружения y не менее 6. Это требование легко выполняется при обнаружении как открытых очагов возгорания, так и подземных очагов горения торфяников в случае, если среднеквадратическая погрешность радиометра 8-миллиметрового диапазона не хуже 7° К

и если размеры обнаруживаемой неоднородности значительно превышают размеры области анализа, определяемой шириной диаграммы направленности антенны и высотой расположения радиометра. Все эти требования эквивалентны взаимной неподвижности измерителя и объекта анализа. При проведении зондирования с летательного аппарата ситуация изменяется. Движение летательного аппарата двояко влияет на величину фиксируемого радиометром сигнала при фиксированных характеристиках исследуемого объекта.

Основным фактором, снижающим чувствительность метода, является рассеяние энергии излучения объекта исследования по всей площади анализа в условиях, когда сечение диаграммы направленности антенны радиометра земной поверхностью превышает размеры очага возгорания. Полагая форму сечения диаграммы окружностью с диаметром:

$$d_a = h \times \text{tg}(\alpha),$$

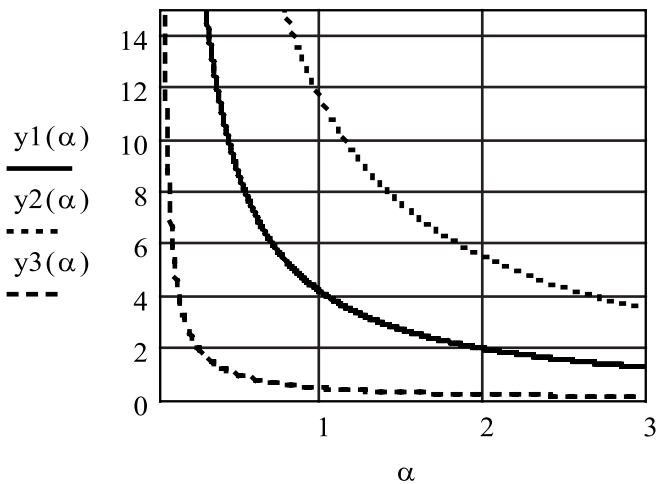


Рис. 5

где h – высота полета, α – ширина диаграммы направленности, можно рассчитать изменение параметра обнаружения, вызванное данным фактором:

$$y = \frac{T_n}{\Delta T} \left(\frac{d}{d_a} \right)^2,$$

где d – линейный размер неоднородности, имеющей форму окружности.

На рисунке 5 показаны зависимости параметра обнаружения от ширины диаграммы направленности антенны в градусах при фиксированной высоте полета $h = 100$ м, для различных размеров объекта обнаружения $d = 5$ м – точки, 3 м – сплошная линия, 1 м – пунктир, для $\Delta T = 1^\circ \text{ К}$, $T_n = 50^\circ \text{ К}$.

Задаваясь необходимым для получения требуемой достоверности обнаружения значением параметра y , можно определить требования к радиометру, его антенне, высоте полета. Анализ полученных результатов позволяет сделать вывод о повышении требований к чувствительности радиометра и направленным свойствам его антенны с повышением высоты полета при фиксированной разрешающей способности обнаружителя, под которой понимается минимальный размер d достоверно обнаруживаемого объекта.

Вторым фактором, снижающим чувствительность метода, является ограниченное время воздействия сигнала на измерительную систему, связанное со скоростью движения ЛА и высокими требованиями к направленным свойствам антенны, связанными с требованиями по получению хорошей разрешающей способности. Если предположить, что объект имеет размер d , не превышающий размера сечения диаграммы

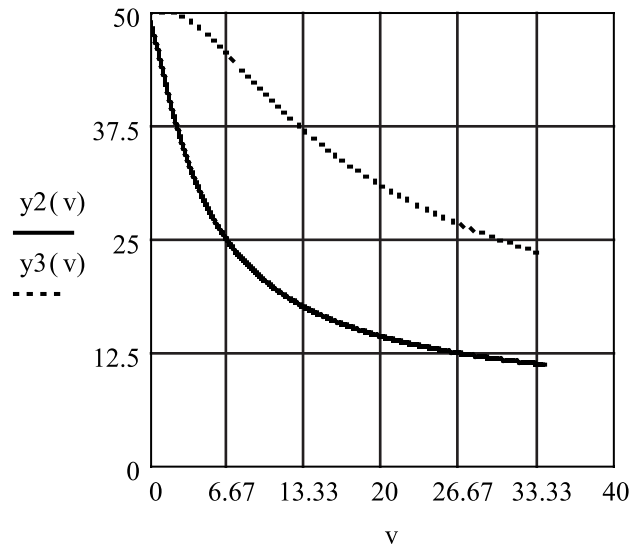


Рис. 6

направленности антенны радиометра земной поверхностью, время его воздействия на измеритель составит:

$$\Delta t = \frac{h \times \text{tg}(\alpha)}{V},$$

где h и V – высота и скорость полета, соответственно, α – ширина диаграммы направленности.

Если d велико, то:

$$\Delta t = \frac{d}{V}.$$

Инерционность радиометра τ определяет экспоненциальный характер нарастания отклика, что приведет к изменению параметра обнаружения:

$$y = T_n \left[1 - \exp\left(-\frac{\Delta t}{\tau}\right) \right].$$

Если Δt будет превышать 3τ , уменьшением параметра обнаружения, вызванным данным фактором, можно пренебречь. Отсюда следует, что значительная скорость движения летательного аппарата и инерционность радиометра ограничивают возможность достоверного обнаружения очагов возгорания малых размеров. На рисунке 6 приведены зависимости параметра y от скорости движения летательного аппарата для $\tau = 1$ с, $T_n = 50^\circ \text{ К}$, $\Delta T = 1^\circ \text{ К}$, $h = 100$ м, $\alpha = 0,1^\circ$, при $d = 20$ м – точки, 5 м – сплошная линия.

Анализ полученных результатов позволяет сделать выводы о снижении требований к быстро-

действию радиометра по мере увеличения высоты полета и снижения требований к направленным свойствам антенны. Совместный учет влияния обоих факторов, снижающих достоверность обнаружения, показывает, что при использовании 8-миллиметрового радиометра с чувствительностью 1°K , $\alpha = (1-3)^\circ$, высоте полета – 100–200 м и скорости – 15–20 м/с возможно достоверное обнаружение очагов пожаров и областей возгорания торфа с линейными размерами 10–20 м. Обнаружение меньших неоднородностей затруднительно. Частота смены информации в этом случае может определяться требованием того, чтобы сечения диаграммы направленности земной поверхности в соседних точках измерения перекрывались для исключения пропуска отдельных точек и были рассчитаны из приведенного ниже соотношения:

$$t_u = \frac{h \times \text{tg}(\alpha)}{V} \geq \tau.$$

Как следует из рис. 3, изменение T_ϕ при фиксированном пороге обнаружения будет приводить к изменению вероятности ложной тревоги и, как следствие, к вариациям D . Использование схемы компенсации яркостной температуры фона с помощью дополнительного канала измерения позволяет задавать порог обнаружения не относительно T_ϕ , а относительно нуля, тем самым стабилизируя вероятность ложной тревоги при изменениях условий наблюдения.

Достаточно значительный уровень ложных тревог при обнаружении определяет необходимость комплексирования информации радиометрического наблюдения с информацией от бортовой видеокамеры, проводящей снимки в оптическом или инфракрасном диапазонах, привязка этих снимков к местности, проводимая с помощью ГИС, позволит значительно повысить достоверность мониторинга в условиях наличия непосредственной видимости объекта наблюдения. В противном случае, система полностью функционирует по данным радиометрического наблюдения.

Литература

1. Мармалюк А.А. Использование БПЛА для обнаружения очагов возгорания. Исследование, проектирование, испытание и эксплуатация приборных устройств в военной технике. – М., 2008.
2. Никитин О.Р., Архипов Е.А., Мармалюк А.А. Моделирование пожароопасных состояний лесов и торфяников // Известия института инженерной физики. – 2008. – № 3. – С. 17–20.



...1961 год – первый полет русского человека в космос

...2001 год – вышел в свет первый номер журнала «Информация и космос»

...2011 год – 50 лет русской космонавтики и 10 лет нашей работы на благо российской науки

Журнал
«Информация и космос» –
сохранение и преумножение
традиций российской науки

ИНФОРМАЦИЯ
КОСМОС

Подписку на журнал оформляйте через каталог «Издания органов научно-технической информации» агентства «Роспечать». Подписной индекс – 61890. Стоимость подписки на год – 1900 рублей.

