

УДК 614.84

АНАЛИЗ ХАРАКТЕРИСТИК ИНТЕНСИВНОСТИ РАДИОТЕПЛОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ В СВЧ ДИАПАЗОНЕ ДЛЯ ОЦЕНКИ СИТУАЦИИ ПРИ ЛЕСНЫХ ПОЖАРАХ

А.Ф. Никулин, д-р техн. наук, А.С. Багров

Украинский научно-исследовательский институт гражданской защиты, Украина

ИНФОРМАЦИЯ ПРО СТАТЬЮ

*Предоставлена в редакцию: 28.04.2017
Прошла рецензирование: 19.06.2017*

АННОТАЦИЯ

Рассмотрены условия и методы дистанционного зондирования поверхности в СВЧ диапазоне для обнаружения очагов возгорания.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

СВЧ излучение, очаг возгорания, проблематика лесных пожаров, лесные и торфяные пожары, БПЛА, мониторинг чрезвычайных ситуаций, методы дистанционного зондирования Земли.

Актуальность. Регулярно возникающие в различных регионах земного шара лесные пожары привлекают к себе внимание как природные бедствия, приносящие серьезный экономический ущерб. Лесные пожары являются не только бедствием для населения, но и важным фактором локальной, региональной и даже глобальной экодинамики, что проявляется, например, в обусловленных пожарами выбросах в атмосферу парниковых газов и аэрозоля.

В конце 90-х годов произошло выгорание бореальных лесов на обширных территориях России и Сев. Америки. Согласно данным официальной статистики, пожары охватили территорию площадью около 4,8 млн. га в бореальных лесах Сев. Америки (Канада и США) и 2,1 млн. га в России. Сгорание биомассы, происходящее в бореальных лесах летом в условиях сухой погоды, обуславливает выбросы в атмосферу больших количеств химически и оптически активных малых газовых компонентов, оказывающих значительное (и специфическое) влияние на химические процессы и перенос излучения в атмосфере [1].

По данным журнала «FORBES» лесные пожары в России вошли в 10 самых дорогих стихийных бедствий XXI века [2].

Актуальность борьбы с лесными пожарами определяется:

- проблематикой лесных пожаров и их воздействием на окружающую среду;
- огромным влиянием лесной экосистемы на жизнедеятельность человека, важной ролью

в глобальных процессах, происходящих на планете, а также в экономике страны;

- необходимостью разработки новых организационно-технических решений, позволяющих обеспечить проведение дистанционного радиотехнического контроля;

- оперативной оценкой текущих запасов древесины и их динамики, связанной с естественным ростом леса, хозяйственной деятельностью, воздействием пожаров;

- отсутствием ранней диагностики пожаров;

- высокой значимостью данных дистанционного зондирования поверхности Земли при решении задач, связанных с мониторингом чрезвычайных ситуаций;

- неодинаковой коммерческой эффективностью существующих технологий и методов дистанционного зондирования Земли.

В связи с этим возникает необходимость разработки новых организационно-технических решений, позволяющих обеспечить проведение дистанционного радиотехнического контроля за пожароопасными ситуациями лесов и торфяников, и принятие на этой основе управляющих решений по поддержанию заданного уровня пожарной безопасности.

Оценка ситуации. Существующая в стране система борьбы с пожарами обеспечивает соответствующий современным требованиям уровень противопожарной защиты лесов лишь на ограниченных территориях. Для организации и поддержания системы по мониторингу и обнаружению лесных пожаров на всей территории лесного фонда имеющихся ресурсов недостаточно. В результате, оперативность обнаружения возникающих

*E-mail: a.f.nikulina@gmail.com

пожаров и принятия мер по их ликвидации, особенно на неохранных территориях, постоянно снижается, что ставит важнейшую научную и практическую задачу разработки научно-методического аппарата построения и эксплуатации беспилотных комплексов радиомониторинга лесных и торфяных пожаров на основе геоинформационных технологий.

Наиболее предпочтительным решением является дополнение существующей аэрокосмической системы региональными системами мониторинга, включающей воздушные патрули, наблюдательные пункты, использующие средства беспилотной малой авиации, оснащенные радиометрическим оборудованием помимо систем ИК и оптического диапазона. Использование указанного оборудования повышает возможности систем природного радиомониторинга, но требует проведения дополнительных исследований, связанных с моделированием радиотехнических методов дистанционного зондирования природных сред, интерпретацией результатов измерений, разработкой алгоритмов принятия решений, методик применения беспилотных комплексов для решения конкретных народно-хозяйственных задач.

Целью данной статьи является: обобщения результатов исследований радиотеплового излучения лесных пожаров в сантиметровом/дециметровом СВЧ диапазонах, выбор оптимальных радиочастотных диапазонов для различных видов лесных массивов, отработка режимов сканирования и условий мониторинга, а также ориентировочные требования к комплексу радиоэлектронного оборудования.

Параметры интенсивности излучения.

В данной работе представлены особенности наблюдения лесных пожаров с самолета, вертолета или с БПЛА с применением СВЧ радиометрического комплекса сантиметрового диапазона. Результаты анализа позволяют определять характеристики СВЧ излучения лесного пожара на его ранней стадии, когда огонь полностью экранирован от наблюдателя слоем растительности.

Результаты анализа дают возможность оценивать минимальные размеры лесных пожаров, которые может обнаруживать СВЧ радиометрический комплекс сантиметрового/дециметрового диапазонов. Длины волн, на которых возможно обнаруживать пожары наи-

меньших размеров при прочих равных условиях, являются, по постановке задачи, оптимальными для обнаружения очагов возгорания.

Предлагаемые к рассмотрению условия предполагают, что СВЧ радиометрический комплекс должен быть использован в целях раннего обнаружения пожаров. В этом случае производятся расчеты для лесных пожаров в начальной стадии их развития, когда они закрыты от регистрирующей системы растительным покровом. Следовательно, данные условия СВЧ излучения должна учитывать существенное ослабление огня кронами деревьев.

Интенсивность радиотеплового излучения лесных пожаров, наблюдаемого в СВЧ диапазоне с низколетящих носителей (самолет, вертолет), может быть описана следующим соотношением [3]:

$$T_{abs} = k_0 T_0 e^{-a_1} e^{-a_2} + k_1 T_1 e^{-a_2} + k_2 T_2, \quad (1)$$

где T_0 , T_1 , T_2 - термодинамические температуры земной поверхности, огня, и крон деревьев, соответственно,

k_0 , k_1 , k_2 - излучательные способности земной поверхности, огня и крон деревьев в СВЧ диапазоне, соответственно,

a_1 , a_2 - полные коэффициенты ослабления СВЧ излучения лесных пожаров и крон деревьев, соответственно.

В (1) не учитывается затухание СВЧ излучения в атмосфере, однако это возможно реализовать, поскольку модель предназначена для дистанционных наблюдений с низколетящих носителей. Кроме того, для простоты анализа вместо реального пространственного распределения температуры в пламени вводится его эффективная температура T . Для того чтобы избежать ложных выводов, применимость СВЧ радиометрического метода оценивается для наиболее типовых, т.е. наиболее вероятных, температур пожара. Таким образом, оцениваются потенциальные возможности обнаружения очагов лесных пожаров по их СВЧ радиометрическим характеристикам для наиболее вероятных случаев их наблюдения.

В период наибольшей пожароопасности можно рассматривать лес как среду, находящуюся в термодинамическом равновесии. Необходимо учитывать также то, что наибольшая пожароопасность связана с высыханием почвы и лесного напочвенного покрова. В этих условиях коэффициент излучения лесной подстилки и почвы имеют близкие к максимальным значения,

достигающие 0.9-0.95. Поэтому возможно упростить анализ, предположив, что:

$$T_0 \approx T_2 \quad (2)$$

$$k_0 \approx 1 \quad (3)$$

Анализ погрешностей показывает, что предположения (2) и (3) приводят к относительной погрешности, не превышающей 10%. Как можно увидеть ниже, такие величины погрешностей не искажают основные результаты данной работы.

Излучательные способности пламени и полога леса могут быть выражены через коэффициенты затухания следующим образом [4]:

$$k_1 = 1 - e^{-a_1} \quad (4)$$

$$k_2 = 1 - e^{-a_2} \quad (5)$$

В результате принятых упрощений, наблюдаемая радиояркая температура лесных пожаров, может быть описана следующим выражением:

$$T'_{abs} \cong T_0 + (1 - e^{-a_1}) e^{-a_2} (T_1 - T_0) \quad (6)$$

Данное выражение является базовым для анализа особенностей, наблюдаемых СВЧ

характеристик лесных пожаров, укрытых покровом растительности, т.е. кронами деревьев.

Пламя лесного пожара представляет собой слабоионизованную среду, т.е. низкотемпературную плазму. В этом случае полное ослабление СВЧ излучения в слое пламени определяется двумя составляющими: - ослаблением k_{fe} , вызванным взаимодействием СВЧ излучения со свободными электронами и ослаблением k_{fp} вызванным поглощением СВЧ излучения на мелких углеродных частицах (типа сажи), присутствующих в пламенах при сгорании углеводородных материалов [5]:

$$a_1 = (k_{fe} + k_{fp}) h_f \quad (7)$$

где h_f - высота пламени.

На круговой частоте ω погонное поглощение СВЧ излучения при взаимодействии со свободными электронами плазмы можно оценить из следующего соотношения [3]:

$$k_{fe} = 2 \frac{\omega}{c} \sqrt{\frac{1}{2} \left(1 - \frac{\omega_p^2}{\omega^2 + \nu^2} \right)} \left[-1 + \sqrt{1 + \frac{\nu^2 \omega_p^4}{\omega^2 (\omega^2 + \nu^2 + \omega_p^2)}} \right] \quad (8)$$

где ν - частота столкновения электронов, c - скорость света.

Плазменную частоту ω_p можно определить из соотношения:

$$\omega_p^2 = N' e^2 / \epsilon_0 m \quad (9)$$

Где N' - плотность электронов в плазме (пламени), e - заряд электрона, m - масса

электрона, ϵ_0 - диэлектрическая проницаемость вакуума.

На круговой частоте ω погонное поглощение СВЧ излучения, вызванное поглощением СВЧ излучения на мелких углеродных частицах можно определить из следующего соотношения [6]:

$$k_{fp} [\text{мкм}^{-1}] = N_0 \frac{\omega^2 [\text{с}^{-1}] a^3 [\text{мкм}]}{c^2 [\text{м/с}]} \left(\frac{1}{10\sigma [\text{См/}\mu]} + 16\pi^2 a^2 [\text{мкм}] \right) \quad (10)$$

где N_0 - плотность углеродных частиц, a - радиус углеродных частиц, σ - проводимость углеродных частиц.

Поглощение электромагнитного излучения в растительном покрове может быть представлено в следующем упрощенном виде [7]:

$$a_2 = k_1 H = A f^\beta H \quad (11)$$

где $A = 8 * 10^{-4}$, $\beta \approx 0.8$, f - радио частота МГц, H - высота дерева.

Эта формула позволяет описать поглощение СВЧ излучения для всех основных типов леса - бореальных, среднеширотных (лиственных) и тропических. Она действует в диапазоне 40-9000 МГц. Как будет показано ниже, именно СВЧ диапазон 1000-9000 МГц (1-9 ГГц) является наиболее перспективным для раннего обнаружения лесных пожаров.

Теннесским Университетом (США) при исследовании пассивного излучения лесных пожаров на предмет определения оптимальной частоты для радиометрии, выбора типа и размеров антенной системы, приемника и системы обработки информации был определен

диапазон исследуемых частот в 2-40 ГГц, который был разделен на 4 поддиапазона: (2-12, 12-18, 18-26 и 26-40) ГГц. Оптимальные результаты были получены в диапазоне 12-18 ГГц при использовании параболической антенны и супергетеродинного приемника [8].

Быстрое и эффективное обнаружение является ключевым фактором в борьбе с лесными пожарами. Важно оперативно доставить специальное пожарное оборудование и квалифицированную команду как можно быстрее к источнику огня, а также обеспечить непрерывный мониторинг распространения огня. Комплексный подход к выявлению и пресечению лесных пожаров базируется на сочетании различных систем обнаружения в зависимости от лесных пожаров. На рис.1 показана модель обнаружения, методы дистанционного зондирования, логистика и обучение с помощью моделирования, и использование пожарной техники [9].

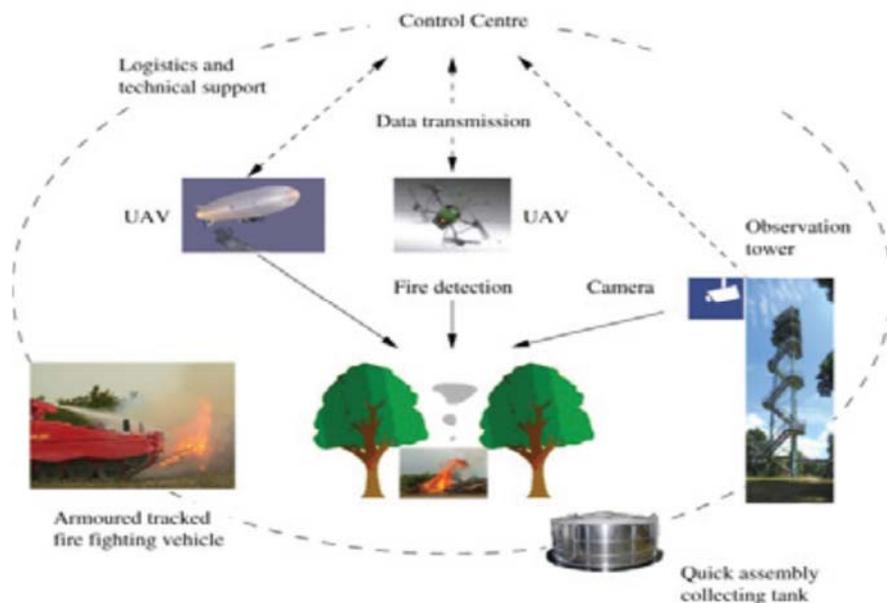


Рисунок 1- Схема обеспечения комплексной пожарной безопасности

Практические расчеты и обоснование требований к оборудованию. Для обнаружения лесных пожаров на ранних стадиях их развития необходимо учитывать конечный размер пятна диаграммы направленности антенн СВЧ радиометрического комплекса. При зондировании в надир полуширина диаграммы направленности определяется следующим дифракционным соотношением:

$$\Delta \vartheta \approx \frac{\lambda}{d} = \frac{2\pi c}{\omega d} \quad (12)$$

где λ - длина волны зондирования, d - диаметр антенной системы, c - скорость света, ω - круговая частота.

В соотношении (12) опущен форм-фактор порядка 1, так как он не меняет значения представленных ниже основных результатов для оптимальных оценок частот СВЧ

мониторинга. Соотношение (12) определяет площадь пятна диаграммы направленности:

$$S = \pi \left(A \tan \left(\frac{2\pi c}{\omega d} \right) \right)^2 \quad (13)$$

где A - является высотой полета, с которого проведены дистанционные измерения. В условиях реальных наблюдений $\frac{2\pi c}{\omega l} \ll 1$, можно выразить (13) в упрощенной форме:

$$S = \pi \left(A \frac{2\pi c}{\omega d} \right)^2 \quad (14)$$

При наблюдении лесного пожара СВЧ радиометрической системой с флюктуационной чувствительностью Δ_σ - минимальный размер площади огня S_x , которую данная радиометрическая система

может обнаружить, задается следующим соотношением:

$$S_x = \frac{\Delta_T}{T_{abs} - T_0} \quad (15)$$

где T_{abs} - рассчитывается из соотношения (6).

Численное моделирование ослабления СВЧ излучения пламени пожаров сосновых лесов проведено на базе отношений (8-10). Результаты расчетов погонного ослабления СВЧ излучения для этих условий представлены на рис. 2. Согласно данным из работы [10] в расчетах для лесных пожаров принято, что электронная плотность равна $1 \cdot 10^{16}$ м, а частота столкновений электронов - $3,43 - 5,97 \times 10^{10} \text{ c}^{-1}$ Для расчета ослабления СВЧ излучения на углеродных частицах принято, что их средний размер равен $1 \cdot 10^{-5}$ м, их плотность $8,8 \cdot 10^9 \text{ м}^{-3}$, а проводимость $1 \cdot 10^5 \text{ См/м}$ [2].

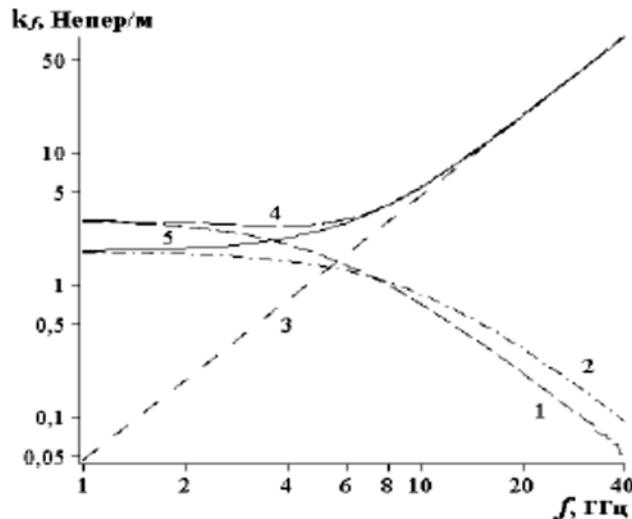


Рисунок 2 - Коэффициенты погонного ослабления СВЧ излучения в пламени пожаров сосновых лесов, где:

$$1 - k_{fe} \text{ для } \nu = 3,43 \times 10^{10} \text{ c}^{-1}, 2 - k_{fe} \text{ для } \nu = 5,97 \times 10^{10} \text{ c}^{-1}, 3 - k_{fr},$$

$$4 - k_{fe} + k_{fr} \text{ для } \nu = 3,43 \times 10^{10} \text{ c}^{-1}, 5 - k_{fe} + k_{fr} \text{ для } \nu = 6,97 \times 10^{10} \text{ c}^{-1}$$

Анализируя приведенные данные можно отметить, что ослабление СВЧ излучения от взаимодействия со свободными электронами уменьшается во всем исследованном СВЧ диапазоне (1-40 ГГц) для обоих предельных значений частоты столкновений - $3,43 \times 10^{10} \text{ c}^{-1}$ и $5,97 \times 10^{10} \text{ c}^{-1}$. Ослабление СВЧ излучения от взаимодействия с углеродными частицами в указанном СВЧ диапазоне увеличивается. Суммарное ослабление несколько уменьшается в диапазоне 1-4 ГГц, а затем существенно

увеличивается в области, где поглощение от углеродных частиц становится преобладающим, а именно, в диапазоне 8-40 ГГц. Частота столкновений электронов оказывает влияние на результаты только в диапазоне 1-6 ГГц, а в диапазоне 10-40 ГГц ее изменением можно пренебречь.

Излучательная способность пламени в СВЧ диапазоне рассчитывается с помощью соотношения (4). Результаты этих оценок для пламени пожаров в сосновых лесах

представлены на рис. 2. Следует отметить, что излучательная способность пламени высотой 2-3 м так близка к 1 (отклонение не превышает 0,5 %) во всем исследованном СВЧ диапазоне, что для оценочных расчетов она может быть принята равной 1.

Для оценки наблюдаемых радиоярких температур используются соотношения (6) и

(11). В расчетах принято $T_0 = 300$ К, что характерно для летнего сезона засухи с высокими рисками стихийных бедствий, и $T_1 = 1000$ К, что близко к средним значениям для пожаров в сосновых лесах [3,4]. На рис.3 представлена зависимость излучательной способности пламени в пожарах сосновых лесов.

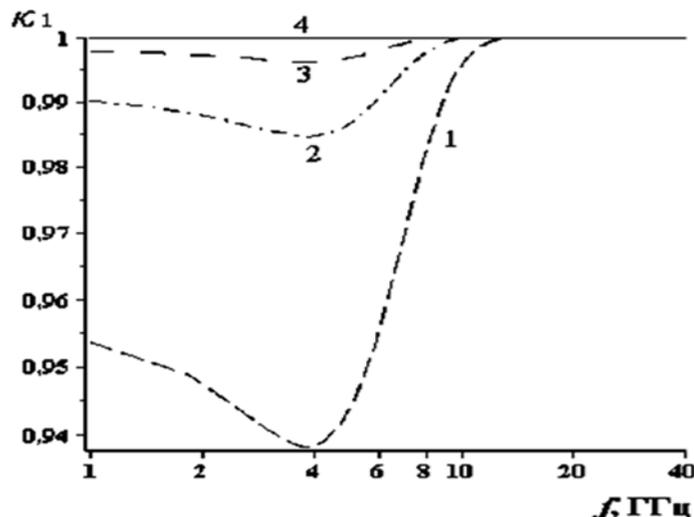


Рисунок 3 - Излучательная способность пламени в пожарах сосновых лесов

k_1 для $\nu = 3,43 \cdot 10^{10} \text{ c}^{-1}$, 1 - $h_f = 1M$, 2 - $h_f = 1,5M$, 3 - $h_f = 2M$, 4 - $h_f = 5M$

На рис.4. представлены результаты расчетов радиояркой температуры пламени (6) с учетом (11). Анализ результатов на рис.3, показывает, что для обнаружения лесных пожаров с деревьями высотой менее 5 м (т.е. фактически для кустарников) можно

использовать весь исследованный СВЧ диапазон от 1 до 40 ГГц в то время, как для зрелого леса с деревьями выше 20 м, можно использовать только радиометры диапазона 1-8 ГГц.

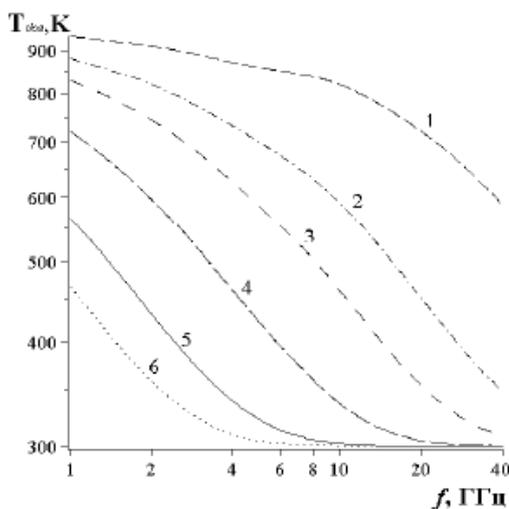


Рисунок 4 - Радиояркие температуры пожаров в сосновых лесах, где:

1 - $H = 1M$, 2 - $H = 3M$, 3 - $H = 5M$, 4 - $H = 10M$, 5 - $H = 20M$, 6 - $H = 30M$

На рис. 5 показаны оценки минимальных площадей возгораний в сосновых лесах, которые могут быть обнаружены СВЧ

радиометрическими приемниками с флюктуационной чувствительностью 1 К и апертурой антенны 2 м. Моделированы

наблюдения с высоты 100 м. Оптимальные диапазоны частот, позволяющие обнаруживать лесные пожары минимальных размеров, описываются следующим эмпирическим выражением:

$$f_{opt} = 1,48 \times 10^2 H^{-1.25} \quad (16)$$

где H это средняя высота деревьев в метрах.

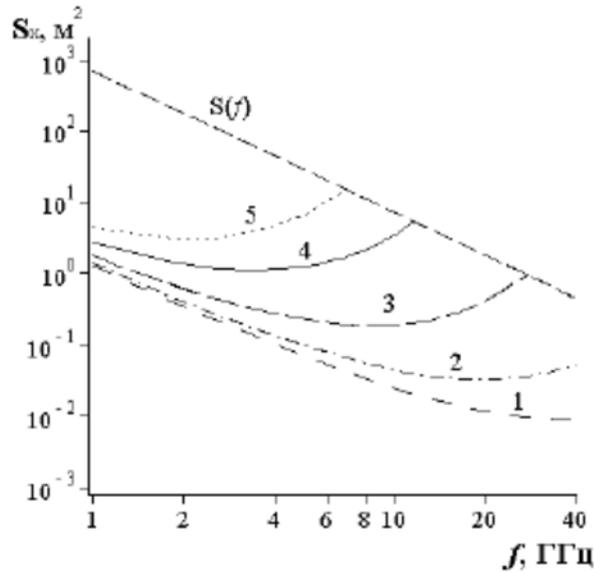


Рисунок 5 - Минимальный размер площади обнаружения пожара.

1 – $H = 3\text{ м}$, 2 – $H = 5\text{ м}$, 3 – $H = 10\text{ м}$, 4 – $H = 20\text{ м}$, 5 – $H = 30\text{ м}$

Учитывая соотношения (14), (15) минимальный размер обнаруживаемых пожаров на оптимальной частоте (16) можно оценить следующим образом:

$$S_{min} = 2 \times 10^{-7} \frac{\Delta_T A^2}{d^2} H_t^{2,53} \quad (17)$$

Выполненный анализ позволяет установить оптимальные частоты зондирования для лесного полога заданной высоты (см. таб. 1).

Таблица 1. Оптимальные частоты для обнаружения лесных пожаров

Средняя высота деревьев, м	Оптимальная частота, ГГц
3	37.1
5	19.6
10	8.61
20	3.45
30	2.07

Контроль лесов на этих частотах позволяет обнаруживать очаги возгорания минимального (при прочих равных условиях) размера. Эти оптимальные частоты зависят только от высоты лесного покрова и не зависят от параметров наблюдения A , Δ_T , d (см. выше выражения (14), (15) и (16)).

Современные технологии в радиометрии данных СВЧ диапазонов позволяют создавать высокочувствительные приемные устройства с коэффициентом усиления до 120 дБ, которые в своем составе имеют конструктивно простые антенные синфазные патч системы, широкополосные усилители с открытым логарифмическим детектированием сигнала, мощные контроллеры для обработки информации. Обработка сигналов производится совместно с GPS позиционированием, что позволяет оператору в реальном масштабе времени контролировать ситуацию в любом лесном массиве.

Обобщающим выводом проведенного анализа являются рекомендуемые характеристики мобильного микроволнового радиометрического комплекса, который должен включать 1-3 СВЧ радиометра, которые позволяют исследовать все три вышеупомянутые группы лесов и имеют хорошо развитую технологическую основу, а именно радиометры диапазонов (1,43 ГГц, 13,3 ГГц, 37,5 ГГц)

- Антенная система с апертурой от 0,4м до 1м.

- Мониторинг с целью раннего обнаружения пожаров должен проводиться с высот:

-100-200 м для плотных (зрелых) лесов с деревьями высотой 20-30 м.

-200-300 м для молодых лесов с деревьями высотой 5-20 м.

-300-500 м для молодых лесов и кустарниковых пустошей высотой менее 5 м.

Выводы.

1. Исследование радиотеплового излучения лесных пожаров в сантиметровом и дециметровом СВЧ диапазонах (1-40 ГГц) показало, что для комплексной оценки излучения необходимо его разделение на три спектральные полосы: 1-4, 4-15, 16-40 ГГц, с отчетливо различающимися характеристиками.

2. Диапазон 1-4 ГГц является наиболее подходящим для выявления ранней стадии пожаров для зрелых лесов с высотой деревьев, достигающей 20-30 м, диапазон 4-15 ГГц для

5-20 м, диапазон 15-40 ГГц является наиболее подходящим для выявления ранней стадии пожаров для кустарников с высотой до 5 м.

3. Построенные эмпирические зависимости позволяют оценить оптимальную частоту для обнаружения пожара минимальной площади в СВЧ диапазоне 1-40 ГГц.

4. Анализ расчетов позволил установить, что высота наблюдения не должна превышать 300 м (оптимально 100-200 м). При больших высотах (более 300 м) минимальная площадь обнаруженного пожара в плотных зрелых лесах имеет размер более 30 м², что, по нашему мнению, не является ранней стадией пожара.

5. Антенная система совместно с комплексом РЭО должна обеспечить чувствительность не хуже 120 дБ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Центр экологической безопасности РАН, г. С.-Петербург; СПб Университет, географический ф-т 2004 г., 1-3 с.
2. Forbes 2014. <http://m.forbes.ru/article.php?id=239642>
3. Бородин Л. Ф., Кирдяшев К.П., Стаканкин Ю.П., Чухланцев А.А. Применение СВЧ радиометрии для обнаружения лесных пожаров. Радиотехника и электроника, 1976, 21(9), 1945-1950с.
4. Башаринов А.Е., Бугаев В.А., Поляков В.М. и др. Микроволновое излучение низкотемпературной плазмы. Сов. Радио: Москва, 1974, 21-22 с. 208-216.
5. Никольский В.В. Электродинамика и распространение радиоволн. 1974. 452с.
6. Чухланцев А.А., Шутко А.М. Ослабление электромагнитного излучения растительным покровом. Радио-техника и электроника, 2003, 48(11), 1285-1311 с.
7. Kgakgamatso Mphale, Mohan Jakob, Mai.Heron, Prediction and Measurements of Electron Density and Collision Frequency in a Weakly Ionized Pine Fire II International Journal of Infrared and Millimeter Waves, 2007, p 28, 251-262.
8. PASSIVE MICROWAVE FIRE DETECTION: A SURVEY AND ASSESSMENT David J. Icove* and Carl T. Lyster. The University of Tennessee, USA, p 5-12
9. 2012 International Symposium on Safety Science and Technology
10. 1. Early forest fire detection and verification using optical smoke, gas and microwave sensors Wolfgang KRULL a,*, Robert TOBERA a, Ingolf WILLMS a, Helmut ESSEN b, Nora von WAHL b a University of Duisburg-Essen, Department of Communication Systems, D-47057 Duisburg, Germany b Fraunhofer Institute for High Frequency Physics and Radar Techniques FHR, Wachtberg, Germany Procedia Engineering 45 (2012) p 584 – 594
10. T. Kaiser, T. Kempka, . Universit.at Duisburg-Essen, Duisburg, Germany Is Microwave Radiation Useful for Fire Detection?., Proceedings of 12th International Conference on Automatic Fire Detection AUBE '01, 26.-28.3.2001, Gaithersburg, NIST Special Publication 965.

ANALYSIS OF THE CHARACTERISTICS OF THE INTENSITY OF THERMAL RADIO RADIATION IN THE MICROWAVE REGION TO ASSESS THE SITUATION IN FOREST FIRES

O. Nikulin, Doctor of Technical Sciences, O. Bahrov

The Ukrainian Civil Protection Research Institute, Ukraine

KEYWORDS

microwave radiation, ignition focus, issue of forest fires, forest and peat fires, UAV, monitoring of emergency situations, methods of remote sensing of the Earth.

ANNOTATION

Conditions and methods for remote sensing of the surface in the microwave region for the detection of fires are considered.

АНАЛІЗ ХАРАКТЕРИСТИК ІНТЕНСИВНОСТІ РАДІОТЕПЛОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ В НВЧ ДІАПАЗОНІ ДЛЯ ОЦІНКИ СИТУАЦІЇ ПРИ ЛІСОВИХ ПОЖЕЖАХ

О.Ф. Нікулін, д-р техн. наук, О.С. Багров

Український науково-дослідний інститут цивільного захисту, Україна

КЛЮЧОВІ СЛОВА

НВЧ випромінювання, вогнище спалаху, проблематика лісових пожеж, лісові та торф'яні пожежі, БПЛА, моніторинг надзвичайних ситуацій, методи дистанційного зондування Землі.

АНОТАЦІЯ

Розглянуто умови та методи дистанційного зондування поверхні в НВЧ діапазоні для виявлення вогнищ загоряння.