

УДК 614.841.42

РАСЧЕТ ШИРИНЫ МИНЕРАЛИЗОВАННОЙ ПОЛОСЫ В СУХОДОЛЬНЫХ ТИПАХ ЛЕСА СОСНОВОЙ ФОРМАЦИИ

Касперов Г.И., к.т.н., доцент, Гоман П.Н., Врублевский А.В.

Приведен расчет ширины минерализованной полосы как преграды распространению лесного низового пожара в суходольных типах леса сосновой формации. Представлены результаты испытаний по определению критического значения плотности лучистого теплового потока от пламени, при котором происходит воспламенение лесного горючего материала сосновых лесов.

1. Расчет ширины минерализованной полосы

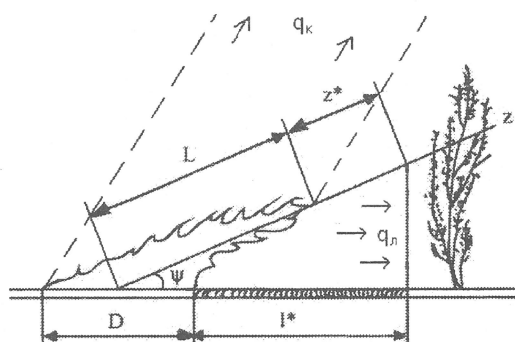
Сосновые лесонасаждения, составляющие 50,2 % лесного фонда, в основном относятся к I классу природной пожарной опасности, что обуславливает необходимость их повышенной пожароустойчивости. В силу того, что в лесном фонде республики на протяжении последнего десятилетия (1997—2006 гг.) наибольший удельный вес в пройденной пожарами площади занимали низовые пожары (около 80 %), возникла необходимость в оптимизации противопожарных разрывов в сосновых лесах с целью ограничения распространения низовых пожаров. В качестве преград, препятствующих распространению лесных низовых пожаров и опорных полос для пуска отжига при локализации действующих очагов, в лесах прокладываются минерализованные полосы. Фактически это полосы лесной территории, покрытые сплошным минеральным слоем почвы, по которым не может распространяться горение. Минерализованная полоса может быть самостоятельным противопожарным барьером или входить в состав противопожарного разрыва или заслона.

Для расчета оптимальной ширины минерализованной полосы как преграды распространению лесного низового пожара рассмотрим схему воздействия тепловых потоков от пламени на лесной горючий материал напочвенного покрова (ЛГМ) (рисунок 1).

Теоретический анализ теплопередачи от пламени к единичному объему лесного напочвенного покрова, расположенному перед фронтом низового пожара, производится на основе закона сохранения энергии [1].

Тепловой поток от кромки горения, воздействующий на расположенный перед ней ЛГМ, состоит из конвекционного и лучистого тепловых потоков от пламени. В случае остановки пламени минерализованной полосой конвекционный поток не учитываем, так как пары нагретых газов с воздухом перемещаются вверх и не могут воспламенить лесной напочвенный покров за минерализованной полосой [2].

На рисунке 1 видно, что в зону воздействия лучистого теплового потока попадает лесная подстилка с опадом, расположенная за минерализованной полосой. Предельное значение l^* получается при $\psi = 0$, когда пламя стелется вдоль поверхности лесного напочвенного покрова.



L — длина пламени; ψ — угол наклона пламени ветром; D — ширина кромки горения; z^* — предельное расстояние от пламени на котором происходит воспламенение ЛГМ; l^* — ширина минерализованной полосы; q_k — конвекционный тепловой поток от пламени; q_n — лучистый тепловой поток от пламени

Рисунок 1 — Схема воздействия тепловых потоков от пламени низового пожара на ЛГМ

С учетом турбулентных пульсаций пламени, достигающих 50 % его средней длины, минимальную ширину минерализованной полосы l^* предлагается оценивать по формуле [1]

$$l^* = 1,5 \times (L + z^*), \quad (1)$$

где L — длина пламени, м;

z^* — предельное расстояние от пламени, на котором возможно воспламенение ЛГМ, м.

Из формулы (1) очевидно, что для определения ширины минерализованной полосы необходимо произвести расчет длины пламени и определить предельное расстояние от пламени, на котором в результате воздействия лучистого теплового потока происходит воспламенение ЛГМ.

2. Расчет длины пламени низового пожара

Среднюю длину пламени предлагается определить по формуле Байрама [1]

$$L = 0,0775 \times I^{0,46}, \quad (2)$$

где I — интенсивность кромки горения (кДж/м · с).

Интенсивность кромки горения определяем по формуле [1]

$$I = k \times Q \times v \times m, \quad (3)$$

где k — коэффициент, учитывающий недожог;

m — количество ЛГМ (кг/м²);

Q — количество теплоты, которое выделяется при сгорании 1 кг ЛГМ (кДж/кг);

v — скорость распространения фронта кромки пожара (м/с).

Коэффициент, учитывающий недожог, определяется по формуле [1]

$$k = -W/32 + 1,25; \quad 8 \leq W < 40, \quad (4)$$

где W — влагосодержание напочвенного покрова, %.

Скорость распространения фронта кромки пожара (v , м/мин) в зависимости от скорости ветра (w_b , м/с) можно определить по формуле Амосова Г.А. [2]

$$v = 0,52 \times w_b + 0,37. \quad (5)$$

Курбатским Н.П. установлена классификация низовых пожаров в зависимости от интенсивности их развития (таблица 1) [2].

Таблица 1 — Классификация низовых пожаров по интенсивности развития

Интенсивность развития низового пожара	Скорость распространения кромки низового пожара (v), м/с	Высота пламени, м
слабая	$\leq 0,016$	$\leq 0,5$
средняя	$> 0,016—0,05$	$> 0,5—1,5$
сильная	$> 0,05$	$> 1,5$

Исследованиями Амосова Г.А., Вонского С.М. и др. установлено, что высшая теплотворная способность ЛГМ зависит от их вида, а низшая — еще и от их влажности (таблица 2) [2].

Таблица 2 — Теплотворная способность ЛГМ (Q)

Вид ЛГМ	Теплотворная способность, кДж/кг		Минимальная влажность, %
	высшая, Q_v	низшая, Q_n	
Древесина сосны	20 658	16 509	52
Древесина ели	20 112	11 029	67
Древесина березы	20 112	11 265	64
Хвоя сосны	23 170	17 617	62
Хвоя ели	20 657	14 936	67
Лишайники	17 891	17 514	3
Мох Шребера	19 943	18 478	7
Сфагновый мох	17 388	17 179	6
Брусничник	21 578	11 816	68
Подстилка	18 185	13 198	6

Примечание. Q_v — количество теплоты, которое выделяется при полном сгорании 1 кг абсолютно сухого материала, Q_n — при сгорании влажного материала.

Поскольку пирологические характеристики сосновых насаждений изменяются с возрастом, то для проведения расчетных оценок их целесообразно разбить на три возрастные группы (таблица 3) [1].

Таблица 3 — Группы возраста сосновых насаждений, их пирологические характеристики и возможные в них виды лесных пожаров

Группа возраста	Характеристика соснового насаждения	Возможные виды лесных пожаров	Среднее значение массы лесной подстилки с опадом для различных типов сосновых лесов (m), кг/м ²
I	Молодняки I класса возраста и сомкнувшиеся культуры сосны с образованием сплошного слоя опада	Низовые (слабые, средние) и верховые беглые	1,0
II	Молодняки II класса возраста и средневозрастные насаждения со сформировавшейся подстилкой	Низовые (слабые, средние, сильные) и верховые беглые	2,3
III	Приспевающие, спелые и перестойные сосновые насаждения с мощной подстилкой	Низовые (слабые, средние, сильные)	2,5

3. Определение критического значения плотности лучистого теплового потока от пламени, при котором происходит воспламенение напочвенного покрова сосновых насаждений

Для определения предельного расстояния от пламени (z^*), на котором от воздействия лучистого теплового потока может произойти воспламенение ЛГМ, необходимо решить две задачи:

- 1) определить критическое значение плотности теплового потока, при котором произойдет воспламенение ЛГМ;
- 2) определить, на каком расстоянии от пламени плотность теплового потока примет это критическое значение.

Для решения первой задачи произведены испытания в соответствии с ГОСТ 30402-96 по определению критического значения плотности теплового потока, при котором происходит воспламенение ЛГМ [3].

Фрагменты проведения испытаний приведены на рисунках 2—4.

По результатам исследований построены графики зависимости времени воспламенения ЛГМ (T, c) сосняков мшистого, верескового и черничника от бесконечно долгого воздействия на них лучистого теплового потока (рисунок 5—7). При помощи статистического пакета Excel были определены стандартные ошибки полученных по уравнениям регрессии значений, которые позволяют определять время воспламенения ЛГМ с погрешностью, не превышающей 10 %.

Очевидно, что наиболее пожароопасным является ЛГМ сосняка мшистого, который воспламенится при критическом значении плотности лучистого теплового потока от пламени $19,5 \text{ кВт/м}^2$. Чуть менее опасен ЛГМ сосняка верескового и сосняка черничника, который воспламенится за большее время при 20 кВт/м^2 и $20,5 \text{ кВт/м}^2$ соответственно.



Рисунок 2 — Держатель с образцом, обернутый листом алюминиевой фольги

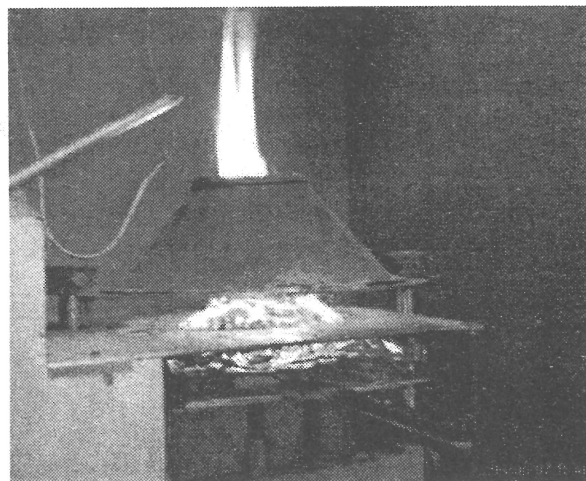
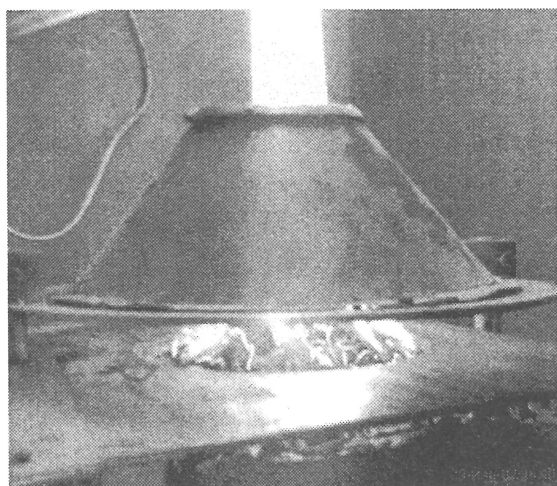


Рисунок 3 — Воспламенение образца при плотности лучистого теплового потока 30 кВт/м^2

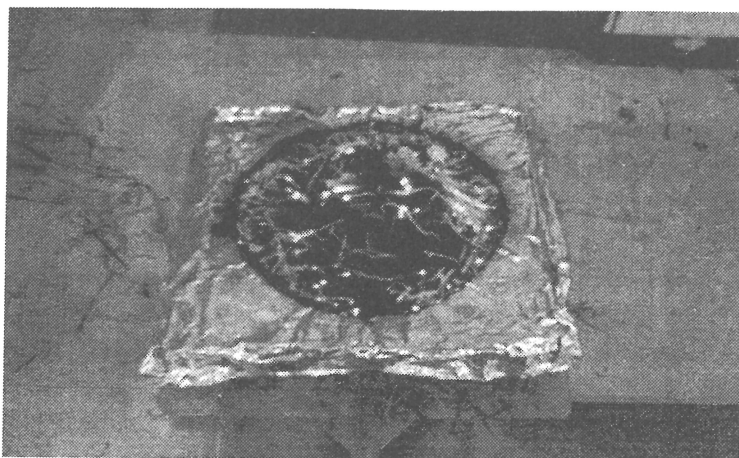


Рисунок 4 — Держатель с образцом после его воспламенения

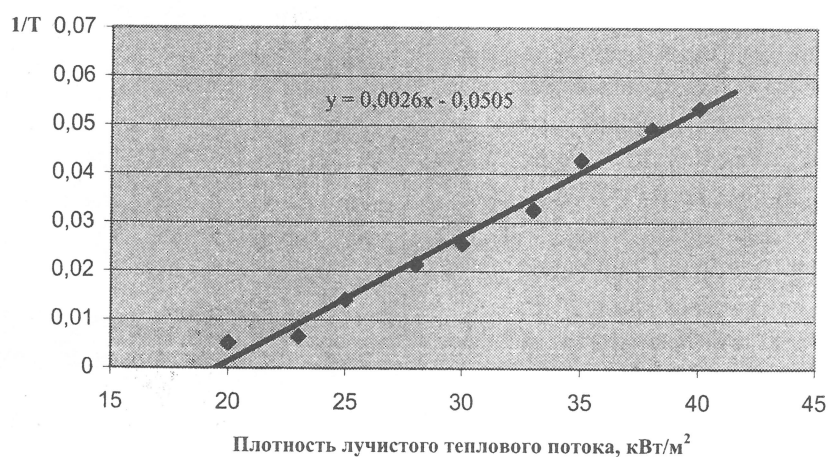


Рисунок 5 — График зависимости времени воспламенения ЛГМ сосняка мшистого от бесконечно долгого воздействия на него лучистого теплового потока

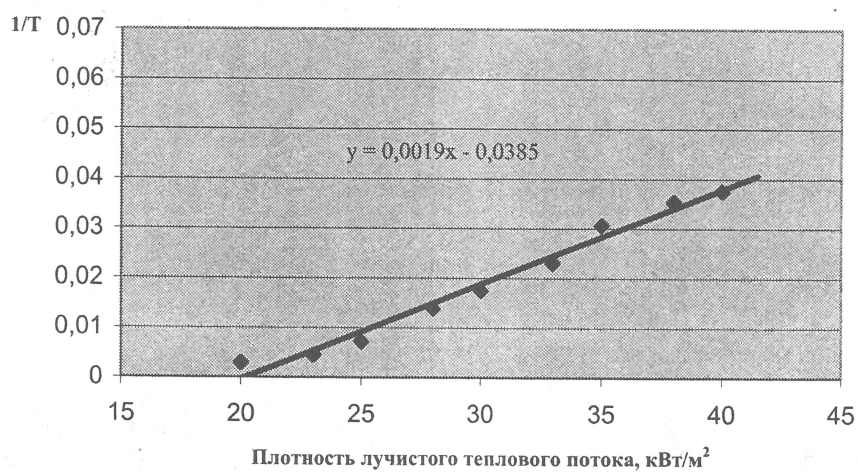


Рисунок 6 — График зависимости времени воспламенения ЛГМ сосняка верескового от бесконечно долгого воздействия на него лучистого теплового потока

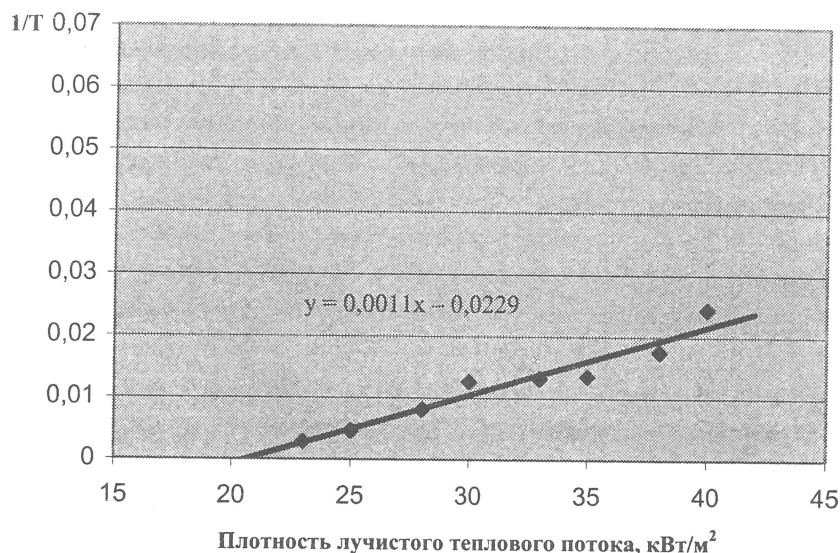


Рисунок 7 — График зависимости времени воспламенения ЛГМ сосняка черничника от бесконечно долгого воздействия на него лучистого теплового потока

4. Определение предельного расстояния от пламени, на котором в результате воздействия лучистого теплового потока происходит воспламенение напочвенного покрова сосновых насаждений

Тепловое излучение от факела пламени при пожарах представляет опасность воспламенения ЛГМ.

Для предотвращения указанной опасности горючие материалы должны находиться от излучения на некотором безопасном расстоянии z^* .

Основой для расчета безопасных расстояний является уравнение лучистого теплообмена между телами, разделенными непоглощающей средой [4]:

$$q_{кр} = \varepsilon_{пр} \times c \times ((T_{и}/100)^4 - (T_{св}/100)^4) \times \psi_{21}, \quad (6)$$

где $q_{кр}$ — критическая плотность лучистого теплового потока? при котором происходит воспламенение ЛГМ, Вт/м²;

$T_{и}$ — температура излучающей поверхности, К (для факела пламени 1173 К);

$T_{св}$ — температура самовоспламенения ЛГМ, К;

$\varepsilon_{пр}$ — приведенная степень черноты системы;

c — коэффициент излучения абсолютно черного тела, равный 5,7 Вт/(м² × К⁴);

ψ_{21} — коэффициент облученности между излучающей и облучаемой поверхностями, в который в неявной форме входит искомое безопасное расстояние z^* .

Приведенная степень черноты определяется приближенно по уравнению [4]

$$\varepsilon_{пр} = 1/(1/\varepsilon_{и} + 1/\varepsilon_{м} - 1), \quad (7)$$

где $\varepsilon_{и}$ — степень черноты излучающей поверхности, равная 0,7;

$\varepsilon_{м}$ — степень черноты облучаемой поверхности, равная 0,5.

При определении безопасного расстояния характерен случай, когда излучение происходит между двумя неограниченно длинными узкими параллельными полосами различной ширины [5].

Выражение для коэффициента облученности между излучающей и облучаемой поверхностями имеет следующий вид [5]:

$$\psi_{21} = (1/(2 \times B)) \times (\sqrt{(C + B)^2 + 4} - \sqrt{(C - B)^2 + 4}), \quad (8)$$

где $B = b / z^*$; $C = h / z^*$;

h — высота пламени, м;

b — высота напочвенного покрова, м.

Подставив экспериментально полученное значение критической плотности лучистого теплового потока ($q_{кр}$) и температуры самовоспламенения ЛГМ ($T_{св}$) в формулу (6), определяем величину коэффициента облученности между излучающей и облучаемой поверхностями (ψ_{21}). Зная значения h , b и ψ_{21} , по формуле (8) определяем предельное расстояние от пламени (z^*), на котором в результате воздействия лучистого теплового потока происходит воспламенение ЛГМ.

Зависимость (z^*) от высоты пламени (h) представлена на рисунке 8.

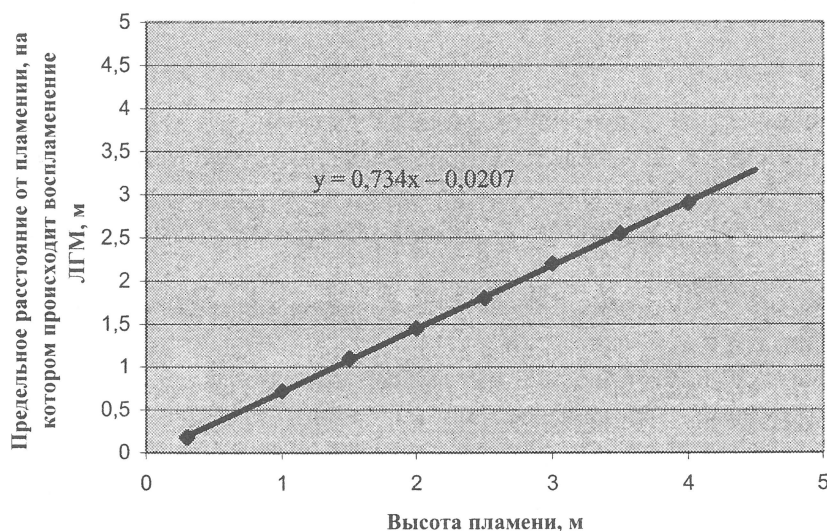


Рисунок 8 — График зависимости предельного расстояния от пламени, на котором происходит воспламенение ЛГМ от высоты пламени в результате воздействия лучистого теплового потока $19,5 \text{ кВт/м}^2$

5. Выводы

Выполненные экспериментальные исследования и проведенные теоретические расчеты показывают, что ширина минерализованной полосы определяется:

1. При безветренной погоде, когда пламя является практически вертикальным, — по рисунку 11.
2. В случае если пламя под воздействием ветра стелется вдоль поверхности лесного напочвенного покрова — по формуле (1). Так, например, для средневозрастных сосновых насаждений ширина минерализованной полосы составит:

$$l^* = 1,5 \times (L + z^*) = 1,5 \times (2,8 + 0,18) = 4,5 \text{ м.}$$

При этом необходимо учитывать, что минимальная расчетная ширина минерализованной полосы определяется при допущении отсутствия переноса горящих частиц, способных воспламенить напочвенный покров.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гусев, В.Г. Физико-математические модели распространения пожаров и противопожарные барьеры в сосновых лесах / В.Г. Гусев. — СПб.: ФГУ «СПб НИИ ЛХ», 2005. — 200 с.
2. Рыхтэр, І.Э. Лясная піралогія з асновамі радыэкалогіі: вучэб. дапам. / І.Э. Рыхтэр. — Мінск: БДТУ, 1996. — 290 с.
3. Материалы строительные. Метод испытания на воспламеняемость: ГОСТ 30402-96.
4. Кошмаров, Ю.А. Термодинамика и теплопередача в пожарном деле / Ю.А. Кошмаров, П.Б. Башкирцев. — М.: Высш. инженерн. пожарно-техн. шк. МВД СССР, 1987. — 444 с.
5. Уонг, Х. Основные формулы и данные по теплообмену для инженеров: справочник: пер. с англ. / Х. Уонг. — М.: Атомиздат, 1979. — 216 с.

Поступила в редакцию 16 мая 2007 г.