

УДК 536.331:536.468

МЕТОДИКА РАСЧЕТА ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННЫХ ПАРАМЕТРОВ ПРОТИВОПОЖАРНЫХ БАРЬЕРОВ ЛЕСНЫХ НИЗОВЫХ ПОЖАРОВ

Гоман П.Н.

Командно-инженерный институт МЧС Республики Беларусь

e-mail: g_pn83@mail.ru

На основании проведенных экспериментально-аналитических исследований закономерностей пространственного распределения теплового излучения от фронта пламени лесного низового пожара и воспламеняемости наземного горючего материала хвойных насаждений разработана методика расчета ширины минерализованных полос и времени их защитного действия. Приведены параметры минерализованных полос, способствующих ограничению распространения пожаров в условиях засушливых периодов, приводящих к повышению пожарной опасности лесного фонда за счет низкой влажности горючего материала.

The method of estimating the width of the mineralized bands and the time of their protective action has been developed on the basis of experimental and analytical studies of spatial distribution of thermal radiation from flame front of forest ground fire and flammability of ground combustible material of conifer plantations. The parameters of the mineralized bands limiting the propagation of fire have been given for dry periods with increased forest fire risks due to low humidity of flammable material.

(Поступила в редакцию 2 мая 2013 г.)

ВВЕДЕНИЕ

Лесной фонд Республики Беларусь в силу породного состава является чрезвычайно пожароопасным, что обусловлено преобладанием хвойных насаждений, на долю которых приходится около 60 % территории лесов. Из них 50 % занимают наиболее предрасположенные к возникновению и распространению пожаров сосновые насаждения. Кроме того, около 20 % лесов представлены радиоактивно загрязненными территориями, пожары в которых приводят к повторной миграции радиоактивных веществ на большие расстояния, что может вызвать ухудшение экологического состояния обширных регионов Беларуси и прилегающих стран.

К настоящему времени, несмотря на ежегодное проведение в лесном фонде республики комплекса профилактических противопожарных мероприятий, не удается в полной мере предупредить возникновение и распространение пожаров, особенно в отдельные засушливые годы. В результате только с 2000 года в Беларуси произошло более 20 тыс. лесных пожаров; площадь, пройденная огнем, превысила 35 тыс. га, что во многом обусловлено не должной эффективностью средств пассивной защиты леса. Распространение пожаров на большие площади во многом связано с тем, что параметры имеющихся барьеров определены на основании технических характеристик средств их создания и научно не обоснованы. Создаваемые минерализованные полосы имеют ширину 1,4-2,8 м и достаточно эффективны для ограничения распространения слабых и средних низовых пожаров с характерной высотой фронта пламени до 1,5 м. В итоге в засушливые периоды, когда образуются тепловые фронты больших размеров, применяемые барьеры оказываются преодолимыми и не способствуют ограничению распространения пожаров.

Для определения надежных параметров минерализованных полос необходимо располагать данными по возможной тепловой нагрузке в области действия протяженных фронтов пламени, характерных для лесных пожаров. Главная задача противопожарных

барьеров – снизить уровень тепловой нагрузки на поверхность наземного горючего материала хвойных насаждений в виде мха, лишайника, опада хвои и листвы до приемлемых значений, не приводящих к его воспламенению. При этом при решении задачи, связанной с определением параметров противопожарных барьеров, конвективным теплообменом и возможным перелетом горящих частиц общепринято пренебрегать, и основным механизмом передачи тепла от фронта пламени высокой температуры к горючему материалу считать теплообмен излучением [1-6].

1. Методика расчета ширины минерализованных полос и времени их защитного действия

В основу разработки методики положены результаты аналитических исследований закономерностей пространственного распределения лучистого теплового потока от протяженных тепловых источников и экспериментальных исследований воспламеняемости наземного горючего материала хвойных насаждений, изложенные в работах [7-9]. В частности, при оценке возможной тепловой нагрузки на горючий материал, фронт пламени моделируется в виде вертикальной плоскости с основанием на уровне земли. При этом рассматривается наихудший случай расположения наземного горючего материала в виде облучаемой поверхности конечных размеров – перпендикулярно поверхности земли.

Экспериментальные данные по воспламеняемости наземного горючего материала получены в лаборатории ГУО «Командно-инженерный институт» МЧС Республики Беларусь на основе методики, изложенной в [10]. Исследования проводились в два этапа: на первом этапе источником зажигания горючего материала было тепловое излучение радиационной панели экспериментальной установки, а на втором – комбинированное воздействие теплового излучения и открытого пламени от подвижной горелки. В результате установлена критическая плотность (минимальное значение) лучистого теплового потока, при которой происходит воспламенение наземного горючего материала хвойных насаждений в зависимости от его влажности, плотности и толщины. В частности, выявлено, что основным фактором, влияющим на воспламеняемость рассматриваемого материала, является влажность [9]. В наихудших условиях засушливого периода (влажность почвенного покрова 10 %) для воспламенения материала необходима тепловая нагрузка не менее 20 кВт/м². Уровень тепловой нагрузки в 15 кВт/м² является безопасным независимо от продолжительности ее воздействия.

Оценка ширины противопожарного барьера производится на основе установленной зависимости плотности лучистого теплового потока от расстояния до облучаемого наземного горючего материала [7]. В условиях засухи определяется расстояние от фронта пламени, при котором тепловая нагрузка достигает уровня 20 кВт/м² и 15 кВт/м². Это расстояние и является требуемой шириной барьера. При этом для ширины, определяемой плотностью теплового потока 20 кВт/м², устанавливается время защитного действия барьера, а для ширины, определенной на основании 15 кВт/м², данное время не устанавливается ввиду отсутствия возможности воспламенения наземного горючего материала. На основании проведенных экспериментально-аналитических исследований, для упрощения расчета пространственно-временных параметров противопожарных барьеров лесных низовых пожаров, выявленные и представленные в работах [7-9] зависимости сведены к простым выражениям, на которых базируется данная методика.

В общем случае, расчет по разработанной методике включает три этапа: определение критической плотности лучистого теплового потока для наземного горючего материала, определение ширины противопожарного барьера и оценка времени его защитного действия.

1.1. Определение критической плотности лучистого теплового потока для наземного горючего материала в зависимости от его влажности

Аппроксимация экспериментальных данных по результатам исследования воспламеняемости наземного горючего материала хвойных насаждений в виде мха,

лишайника, опада хвои и листвы позволила установить следующую зависимость между влажностью материала (отношение массы воды в материале к массе сухого материала w , %), и критической плотностью лучистого теплового потока q , кВт/м², приводящего к его воспламенению [8]:

$$q = \frac{-C_1}{1 + e^{0,1w-2}} + C_2, \quad 10 \leq w \leq 300, \quad (1)$$

где C_1 и C_2 – коэффициенты, равные соответственно 34 кВт/м² и 45 кВт/м².

С увеличением влажности материала с 10 до 50 % требуемая для воспламенения материала тепловая нагрузка растет по линейному закону с 20 до 42 кВт/м². Дальнейшее увеличение влажности материала не приводит к ожидаемому увеличению критической плотности лучистого теплового потока. Минимальная тепловая нагрузка для материала с высоким содержанием влаги составляет 45 кВт/м². Однако с повышением влажности материала время, требуемое для его воспламенения, увеличивается.

1.2. Определение ширины противопожарного барьера в зависимости от установленной критической плотности лучистого теплового потока и высоты теплового фронта для реальных параметров лесного низового пожара

Установленные закономерности пространственного распределения плотности лучистого теплового потока от протяженного плоского теплового фронта позволили выявить следующую зависимость между шириной противопожарного барьера (L , м) и высотой теплового фронта h , м при фиксированной и определенной по пункту 1.1 методики величине критической тепловой нагрузки для наземного горючего материала q , кВт/м², [7]:

$$L = \frac{A_1 - A_2}{1 + e^{\frac{q-B_1}{B_2}}} + A_2, \quad q \leq 40 \text{ кВт/м}^2, \quad (2)$$

где A_1 , A_2 , B_1 , B_2 – коэффициенты, зависящие от высоты теплового фронта (h , м), приведенные в таблице 1.

Значения ширины и температуры теплового фронта при расчете ширины противопожарного барьера приняты соответственно 10 м и 1073 К и аргументированы проведенными натурными испытаниями [11]. Увеличение ширины теплового фронта сверх 10 м, равно как и высоты сверх 3 м, перестает существенно сказываться на значениях тепловой нагрузки на облучаемой поверхности.

Полученная зависимость (2) свидетельствует о том, что с увеличением тепловой нагрузки, требуемой для воспламенения горючего материала, необходимая ширина противопожарного барьера уменьшается. Другими словами, с повышением устойчивости материала к действию теплового потока, что связано с увеличением его влажности, требуются минерализованные полосы меньшей ширины.

Таблица 1 – Коэффициенты для выражения (2)

h , м	A_1 , м	A_2 , м	B_1 , кВт/м ²	B_2 , кВт/м ²
1	51,06	0,58	-16,03	9,14
1,5	88,02	-0,09	-33,77	14,96
2	40,79	-1,27	-26,41	21,10
2,5	46,81	-4,37	-39,99	35,04
3	32,05	-13,72	-6,03	56,91

1.3. Определение времени защитного действия противопожарного барьера

Аппроксимация экспериментальных данных, полученных при исследовании воспламеняемости наземного горючего материала хвойных насаждений, позволила выявить следующую зависимость времени воспламенения t , с, от влажности материала w , %, и воздействующей на него тепловой нагрузки q , кВт/м², [8]:

$$t = A_0 \frac{w^{0,35}}{q^4}, \quad (3)$$

где A_0 – коэффициент, равный $1,2 \cdot 10^7$ с/(кВт/м²)⁴.

При этом значение плотности лучистого теплового потока в (3) должно быть больше либо равно критическому значению, соответствующему определенной влажности горючего материала.

При невозможности оперативного введения сил и средств для ликвидации пожара в течение времени, не превышающем полученное по (3) значение, противопожарный барьер не выполнит своей защитной функции. Очевидно, что для определения достаточной ширины барьера критическое значение плотности теплового потока, установленное по формуле (1), необходимо уменьшить. Логично значение тепловой нагрузки уменьшить на 5 кВт/м², как это делается при определении воспламеняемости строительных материалов [10]. В данном случае, как указано ранее, время защитного действия барьера не устанавливается в виду создания условий, исключающих возможность воспламенения напочвенного покрова от принятой тепловой нагрузки.

Для оценки ширины противопожарного барьера в большем диапазоне параметров теплового фронта (по температуре, высоте и ширине) и при различной ориентации облучаемого материала относительно него, рекомендуется воспользоваться, приведенным в работе [7], выражением, характеризующим пространственное распределение потоков излучения от протяженных плоских источников произвольных параметров, и значениями критической тепловой нагрузки для напочвенного покрова по (1).

2. Пример расчета пространственно-временных параметров минерализованных полос по разработанной методике

Условия задачи. Необходимо определить пространственно-временные параметры минерализованных полос для наихудших условий (продолжительных засушливых периодов), отвечающих влажности напочвенного покрова около 10 % и фронту пламени высотой 3 м.

Решение задачи.

1. В соответствии с данной методикой по выражению (1) определяем критическую плотность лучистого теплового потока q , кВт/м², для материала влажностью 10 %.

$$q = \frac{-C_1}{1 + e^{0,1w-2}} + C_2 = \frac{-34}{1 + e^{0,1 \cdot 10 - 2}} + 45 = 20 \text{ кВт/м}^2.$$

2. С учетом полученного значения критической плотности теплового потока определяем ширину минерализованной полосы L , м, по выражению (2).

$$L = \frac{A_1 - A_2}{1 + e^{\frac{(q-B_1)}{B_2}}} + A_2 = \frac{32,05 + 13,72}{1 + e^{\frac{(20+6,03)}{56,91}}} - 13,72 = 4 \text{ м}.$$

3. Определяем время защитного действия минерализованной полосы t , с, по выражению (3).

$$t = A_0 \frac{w^{0,35}}{q^4} = 1,2 \cdot 10^7 \frac{10^{0,35}}{20^4} = 167 \text{ с} = 2,8 \text{ мин}.$$

Если нет возможности прекратить воздействие теплового излучения пожара на напочвенный покров леса в течение 2,8 мин., уменьшаем полученное по (1) значение

плотности лучистого теплового потока с 20 кВт/м² до 15 кВт/м² и вновь по (2) определяем ширину минерализованной полосы (L , м).

$$L = \frac{A_1 - A_2}{1 + e^{\frac{(q-B_1)}{B_2}}} + A_2 = \frac{32,05+13,72}{1 + e^{\frac{(15+6,03)}{56,91}}} - 13,72 = 5 \text{ м.}$$

Таким образом, ширина противопожарного барьера в зависимости от быстроты реагирования на пожар должна составлять:

4 м при времени облучения материала не более 167 с.;

5 м без ограничения по времени теплового воздействия.

При условии формирования сильных низовых пожаров с высотой теплового фронта 2 м или средних с высотой 1,5 м при прочих аналогичных параметрах задачи для случая отсутствия ограничения по времени защитного действия противопожарного барьера с величиной $q=15$ кВт/м² ширина минерализованной полосы, определенная по данной методике, должна составлять 4 и 3,2 м, соответственно.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящей работе показано, что для защиты лесного горючего материала от воздействия теплового излучения протяженных фронтов сильных низовых пожаров высотой 2–3 м требуется увеличение ширины противопожарных барьеров до 4–5 м, что позволит остановить распространение огня по напочвенному покрову, в том числе в условиях участвовавших засушливых периодов, и тем самым снизить эколого-экономический ущерб государству, обусловленный уничтожением природных экосистем.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кошмаров, Ю.А. Теплотехника / Ю.А. Кошмаров. – М.: ИКЦ «Академкнига», 2006. – 501 с.
2. Ройтман, М.Я. Пожарная профилактика в строительстве / М.Я. Ройтман, Е.П. Комиссаров, В.А. Пчелинцев. – М.: Стройиздат, 1978. – 368 с.
3. Башкирцев, М.П. Основы пожарной теплофизики / М.П. Башкирцев [и др.]. М.: Издат-во литературы по строительству, 1971. – 200 с.
4. Система стандартов безопасности труда. Пожарная безопасность. Общие требования: ГОСТ 12.1.004-91. – Введ. 01.07.92. – М.: Гос. ком-т по стандартизации: МВД СССР, 1991. – 80 с.
5. Система стандартов пожарной безопасности. Пожарная безопасность технологических процессов. Методы оценки и анализа пожарной опасности. Общие требования: СТБ 11.05.03-2010. – Введ. 01.01.11. – Минск: Гос. ком-т по стандартизации: НИИ ПБ и ЧС МЧС Республики Беларусь, 2010. – 76 с.
6. Еврокод 1. Воздействия на конструкции. Часть 1-2. Общие воздействия. Воздействия для определения огнестойкости: ТКП EN 1991-1-2-2009. – Введ. 01.01.10. – Минск: Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь: РУП «Стройтехнорм», 2009. – 52 с.
7. Соболев, В.Р. К вопросу о пространственном распределении интенсивности лучистого потока энергии от источника большой площади / В.Р. Соболев, П.Н. Гоман, В.И. Януж // Чрезвычайные ситуации: образование и наука. – 2011. – № 2(6) – С. 116-124
8. Касперов, Г.И. Исследование пожароопасных свойств лесных горючих материалов сосновых насаждений / Г.И. Касперов, П.Н. Гоман // Труды БГТУ. Сер. II, Лесная и деревообр. пром-ть. – 2010. – Вып. XVIII. – С. 337-340.
9. Соболев, В.Р. Влияние влажности на радиационный разогрев напочвенного материала леса / В.Р. Соболев, П.Н. Гоман // Пожаровзрывобезопасность. – 2012. – № 7. – С. 21–28.
10. Материалы строительные. Метод испытания на воспламеняемость: ГОСТ 30402–96. – Введ. 30.03.97. – Минск: Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь: ФГУП ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко, 1996. – 27 с.
11. Гоман, П.Н. Экспериментально-численное моделирование процесса горения и распространения огня в условиях лесного низового пожара / П.Н. Гоман [и др.] // Технологии техносферной безопасности: Интернет-журнал. – Вып. 3(37). – 2011. – 14 с. – <http://ipb.mos.ru/ttb>.