

АУЫЛ ШАРУАШЫЛЫҒЫ ҒЫЛЫМДАРЫ

Сәкен Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университетінің Ғылым жаршысы (пәнаралық) = Вестник науки Казахского агротехнического исследовательского университета имени Саке-на Сейфуллина (междисциплинарный). – Астана: С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті, 2024. - № 1(120). - Б.4-16. - ISSN 2710-3757, ISSN 2079-939X

doi.org/ 10.51452/kazatu.2024.1(120).1588

УДК 614.841.42:630

ОЦЕНКА УРОВНЯ ТЕПЛООВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ПРИ ЛЕСНОМ ПОЖАРЕ И РАСЧЕТ ШИРИНЫ ПРОТИВОПОЖАРНОГО БАРЬЕРА

Гоман Павел Николаевич

Кандидат технических наук, доцент

*Государственное учреждение образования «Университет гражданской
защиты Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь»*

г. Минск, Республика Беларусь

E-mail: g-pn83@mail.ru

Гончаренко Игорь Андреевич

Доктор физико-математических наук, профессор

*Государственное учреждение образования «Университет гражданской
защиты Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь»*

г. Минск, Республика Беларусь

E-mail: Ihar02@list.ru

Ильюшонок Александр Васильевич

Кандидат физико-математических наук, доцент

*Государственное учреждение образования «Университет гражданской
защиты Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь»*

г. Минск, Республика Беларусь

E-mail: Ilyushonok@gmail.com

Аннотация

Проведена оценка плотности лучистого теплового потока при лесных пожарах. Установлено, что уровень тепловой нагрузки в большей мере зависит от температуры пламени, нежели от его высоты и ширины. Так, при горении напочвенного покрова, с температурой огня около 1070 К уровень теплового воздействия не превышает 40 кВт/м². При горении древесины тепловая нагрузка несколько выше и составляет 50-60 кВт/м², что превосходит параметры воспламеняемости лесной растительности и требует создания противопожарных барьеров повышенной ширины. На основании данных по распределению тепловой нагрузки от фронта пламени и воспламеняемости лесного горючего материала предложена методика расчета ширины противопожарных барьеров, адаптированная для условий засухи с уровнем влажности напочвенного покрова 10-30 %.

Ключевые слова: лесной пожар; напочвенный покров; фронт пламени; тепловой поток; воспламеняемость; горение; противопожарный барьер.

Введение

В последние годы по причине глобального потепления во многих странах фиксируются максимумы числа лесных пожаров за весь период наблюдения, а обстановка с пожарами приобретает катастрофический характер [1]. В сложившихся условиях эффективные ранее методы охраны лесов от пожаров становятся менее действенными, что требует их пересмотра и адаптации для условий аномальной засухи. Для обеспечения безопасной работы спасателей и повышения эффективности профилактических мероприятий необходима оценка уровня теплового воздей-

ствия при лесных пожарах, на основании чего могут быть разработаны новые виды термостойкой защитной одежды, усовершенствованы способы тушения возгораний, оптимизированы требования к ширине противопожарных барьеров.

Лесные пожары обладают рядом поражающих факторов, включающих пламя и нагрев тепловым потоком, способных привести к ожогам кожи человека, тепловому удару, быстрому распространению огня. Уровень теплового воздействия при этом определяется параметрами фронта пламени (форма, температура, высота, ширина) и общей интенсивностью горения.

Как известно [1-4], при лесных пожарах может формироваться огненный фронт плоской или цилиндрической формы (рисунок 1). Основными факторами, влияющими на форму пламени, являются ветер и продолжительность горения. Так, при отсутствии ветра лесной пожар в начальной стадии его развития имеет форму цилиндра, размеры которого увеличиваются со временем. В дальнейшем фронтальная часть пожара, распространяющаяся с наибольшей скоростью, будет приобретать все более отчетливую плоскую форму.



Рисунок 1 – Лесной пожар плоской (а) и цилиндрической (б) формы

Материалы и методы

Для оценки уровня тепловой нагрузки от лесных пожаров использован стандартный подход: фронт пламени рассматривается как большое количество элементарных излучателей, тепловой поток, падающий на облучаемую поверхность, находится путем суммирования вкладов от каждого из них [2]. Фронт пламени рассмотрен как абсолютно черное тело и, следовательно, посылаемый тепловой поток по всем направлениям одинаков, то есть излучающая поверхность по энергетической яркости является ламбертовым источником.

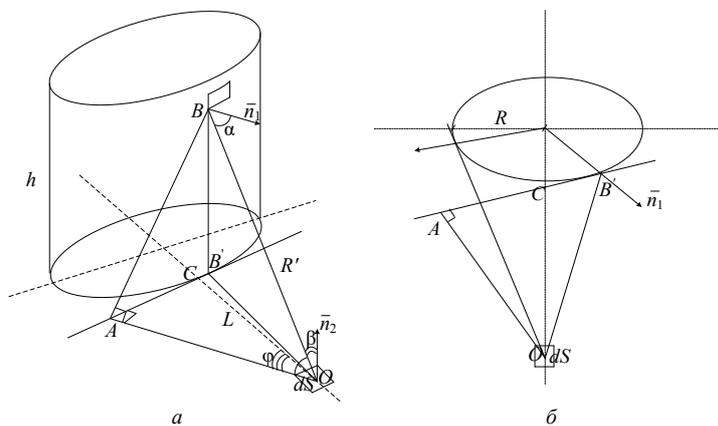
Геометрические построения для характерных при лесных пожарах фронтов пламени цилиндрической формы представлены на рисунке 2.

По исследованию процессов воздействия тепловых потоков от протяженных фронтов пламени на спасателей и население, объекты инфраструктуры имеется большое количество работ, значительная доля которых отражает результаты аналитических расчетов [5-11]. На современном этапе установлены критерии термической стойкости ряда веществ и материалов, разработаны методы оценки уровня теплового воздействия от фронта пламени, которые применяются в системе противопожарного нормирования и стандартизации ряда стран мира [12,13]. Следует отметить, что данные методы весьма эффективны при обеспечении пожарной безопасности зданий и сооружений, наружных установок, а также технологических процессов. Однако они не в полной мере применимы для условий лесных пожаров, так как в первую очередь ориентированы на оценку огнестойкости зданий и строительных конструкций. Кроме того, при моделировании процесса теплового воздействия фронт пламени принимается исключительно плоской формы, что не отвечает возможным ситуациям при лесных пожарах.

Значительный вклад в оценку уровня теплового воздействия при горении лесного горючего материала внес В.Г. Гусев. Так, в работе [14] представлен метод определения тепловой нагрузки, воздействующей на человека при лесном пожаре. Данный метод позволит оценить вероятность поражения спасателей тепловым потоком, однако имеет существенный недостаток, так как в процессе моделирования высота фронта пламени может задаваться только равной росту человека, что ограничивает применимость расчета и требует его корректировки. В работе [15] приведен метод рас-

чета ширины противопожарных барьеров в сосновых лесах. Согласно данному методу, ширина препятствия определяется исходя из возможной высоты пламени с учетом его турбулентных пульсаций и наклона под воздействием ветра, а также вероятности воспламенения лесного горючего материала тепловым потоком. Данный подход наиболее полно отвечает условиям лесных пожаров, однако также нуждается в корректировке, так как используемая схема лучистого теплообмена построена по принципу расположения облучаемой поверхности у края излучателя без возможности ее смещения вдоль фронта пламени. При таких условиях уровень тепловой нагрузки на растительность существенно занижен, так как максимальное тепловое воздействие будет достигаться при расположении облучаемой поверхности напротив середины основания пламени [16]. Кроме того, в работе [15] не рассмотрены условия вертикального расположения облучаемой поверхности, что имеет место в ряде практических случаев.

Таким образом, несмотря на полученные результаты и накопленный опыт в сфере обеспечения пожарной безопасности природных экосистем, прогнозирование уровня тепловой нагрузки при лесных пожарах продолжает оставаться актуальным и является целью данной работы. На основании данных по формируемым тепловым потокам могут быть усовершенствованы средства индивидуальной защиты спасателей, оптимизированы способы тушения лесных пожаров и требования к противопожарному обустройству лесов.



a – вид сбоку, *б* – вид сверху

Рисунок 2 – Схема воздействия тепловой нагрузки от цилиндрического фронта пламени на облучаемую поверхность

Тепловой поток, падающий на облучаемую поверхность от элементарного излучателя, пропорционален его площади, видимой из точки наблюдения O , и величине телесного угла $d\Omega$, опирающегося на облучаемую поверхность. Если ось конуса телесного угла $d\Omega$ составляет с нормалью \vec{n}_2 к облучаемой поверхности угол β то:

$$d\Omega = \frac{dS \cos \beta}{R'^2}, \quad (1)$$

где dS – площадь облучаемой поверхности, R' – расстояние от элементарного излучателя до облучаемой поверхности.

Следовательно, элементарный поток $d\Phi$, падающий на поверхность dS :

$$d\Phi = BdS \frac{\cos \alpha \cos \beta}{R^2} d\Sigma, \quad (2)$$

где B – энергетическая яркость элементарного излучателя, $d\Sigma$ – его площадь, α – угол между нормалью к элементарному излучателю и направлением на облучаемую поверхность.

Так как излучающая поверхность является абсолютно черной и ламбертовой, то

$$B = \frac{\sigma T^4}{\pi}, \quad (3)$$

где σ – постоянная Стефана-Больцмана, T – температура поверхности (пламени), K .

Соответственно, плотность dq теплового потока, попадающего на поверхность dS , от элементарного излучателя:

$$dq = \frac{d\Phi}{dS} = \frac{\sigma T^4}{\pi R^2} \cos \alpha \cos \beta d\Sigma. \quad (4)$$

Плотность теплового потока, падающего на облучаемую поверхность от всего фронта пламени, находится путем суммирования вкладов от элементарных излучателей:

$$q = \int_{\Sigma} dq = \frac{\sigma T^4}{\pi} \int_{\Sigma} \frac{\cos \alpha \cos \beta}{R^2} d\Sigma, \quad (5)$$

где интеграл берется по всему фронту пламени h .

Для фронта пламени в форме цилиндра радиусом R и высотой h (рисунок 2):

$$\begin{aligned} \cos \alpha &= \frac{OA}{R'} = \frac{(L+R) \cos \varphi - R}{R'}, \quad \cos \beta = \frac{y}{R'}, \quad d\Sigma = R d\varphi dy, \\ R'^2 &= y^2 + R^2 + (L+R)^2 - 2R(L+R) \cos \varphi, \\ q &= \frac{\sigma T^4}{\pi} \int_{-\pi/2}^{\pi/2} \int_0^h \frac{Ry[(L+R) \cos \varphi - R]}{[y^2 + R^2 + (L+R)^2 - 2R(L+R) \cos \varphi]^2} d\varphi dy. \end{aligned} \quad (6)$$

После вычисления интеграла (6) получено выражение, характеризующее закономерности распределения плотности лучистого теплового потока от цилиндрического фронта пламени с учетом его радиуса, высоты, температуры, а также расстояния до облучаемой поверхности:

$$q = \frac{\sigma T^4}{2\pi} \left(a_{L,R}(h) [b_{L,R}(h) - c_{L,R}(h)] + b_{L,R}(0) - c_{L,R}(0) \right), \quad (7)$$

где σ – постоянная Стефана-Больцмана, $5,57 \cdot 10^{-8}$ Вт/(м²·К⁴);

q – плотность лучистого теплового потока, Вт/м²;

T – температура цилиндрического излучателя, К;

R – радиус цилиндрического излучателя, м;

h – высота цилиндрического излучателя, м;

L – расстояние от излучателя до облучаемой поверхности, м.

Величины $a_{L,R}(h)$, $b_{L,R}(h)$ и $c_{L,R}(h)$ вычисляются по формулам:

$$a_{L,R}(h) = - \frac{L^2 + 2LR + h^2}{\sqrt{(L^2 + h^2)((L+2R)^2 + h^2)}}, \quad (8)$$

$$b_{L,R}(h) = \operatorname{arctg} \left(\frac{(h^2 + L^2 + 2R^2 + 2LR)(L+R) \left(1 + \sqrt{1 - \frac{R^2}{(L+R)^2}} \right) - 2R(RL + R^2)}{R\sqrt{(L^2 + h^2)((L+2R)^2 + h^2)}} \right), \quad (9)$$

$$c_{L,R}(h) = \operatorname{arctg} \left(\frac{(h^2 + L^2 + 2R^2 + 2LR)(L+R) \left(1 - \sqrt{1 - \frac{R^2}{(L+R)^2}} \right) - 2R(RL + R^2)}{R\sqrt{(L^2 + h^2)((L+2R)^2 + h^2)}} \right). \quad (10)$$

Для плоского фронта пламени основные элементы геометрии задачи и исходные предположки расчета представлены на рисунке 3. В данном случае:

$$\begin{aligned} \cos \alpha &= \frac{L}{R'}, \quad \cos \beta = \frac{y}{R'}, \quad d\Sigma = R dx dy, \\ R'^2 &= L^2 + x^2 + y^2, \\ q &= \frac{\sigma T^4}{\pi} \int_{x_1}^{x_2} \int_0^h \frac{Ly}{(L^2 + x^2 + y^2)^2} dx dy. \end{aligned} \quad (11)$$

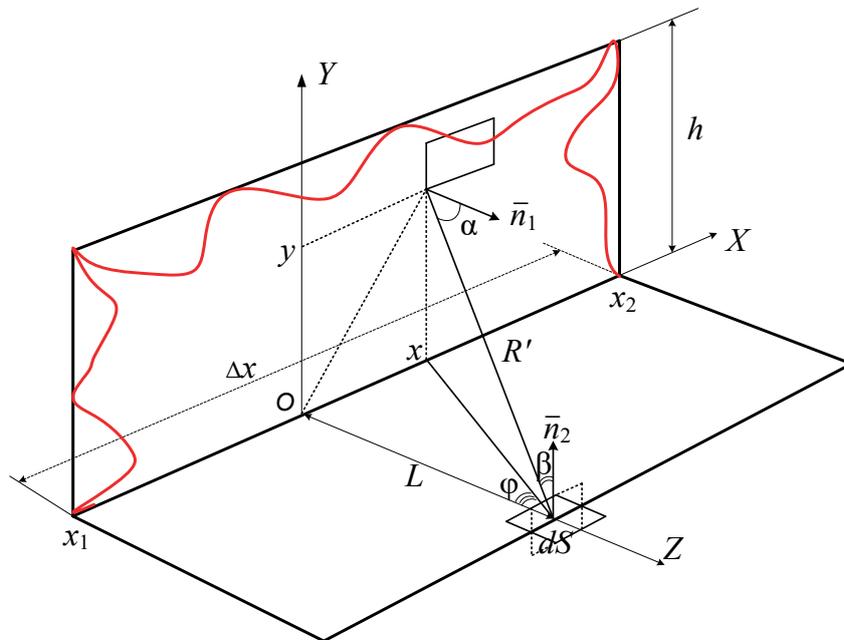


Рисунок 3 – Схема воздействия тепловой нагрузки от плоского фронта пламени на облучаемую поверхность

Как видно на рисунке 3, положение облучаемой поверхности определяется пределами интегрирования по координате x , которые можно задавать так, что оно будет изменяться по ширине излучателя. В результате интегрирования получено следующее выражение по оценке уровня тепловой нагрузки, действующей на горизонтально расположенную облучаемую поверхность:

$$q = \frac{\sigma T^4}{2\pi} \left[\operatorname{arctg} \left(\frac{x_2}{L} \right) - \operatorname{arctg} \left(\frac{x_1}{L} \right) + \frac{L \left[\operatorname{arctg} \left(\frac{x_1}{\sqrt{L^2 + h^2}} \right) - \operatorname{arctg} \left(\frac{x_2}{\sqrt{L^2 + h^2}} \right) \right]}{\sqrt{L^2 + h^2}} \right], \quad (12)$$

где x_1, x_2 – координаты, ограничивающие ширину фронта пламени, м.

В данном случае, принимая во внимание, что плоский фронт, как показано ниже, представляет большую опасность нежели цилиндрический, кроме горизонтального расположения облучаемой поверхности рассмотрено и ее вертикальное расположение.

Для вертикального расположения облучаемой поверхности плотность теплового потока определяется выражением:

$$q = \frac{\sigma T^4}{2\pi} \left(\frac{h \left[\arctg \left(\frac{x_2}{\sqrt{L^2 + h^2}} \right) - \arctg \left(\frac{x_1}{\sqrt{L^2 + h^2}} \right) \right]}{\sqrt{L^2 + h^2}} - \frac{x_1 \arctg \left(\frac{h}{\sqrt{L^2 + x_1^2}} \right)}{\sqrt{L^2 + x_1^2}} + \frac{x_2 \arctg \left(\frac{h}{\sqrt{L^2 + x_2^2}} \right)}{\sqrt{L^2 + x_2^2}} \right) \quad (13)$$

Следует отметить, что выражения (7, 12 и 13) характеризуют излучение абсолютно черного тела, падающее на абсолютно черную поверхность, что отвечает наихудшим условиям при пожаре.

Результаты

Сравнительный анализ полученных по выражениям (7, 12 и 13) данных показывает, что плоский фронт, как и ожидалось, представляет большую пожарную опасность в сравнении с цилиндрическим. Это обусловлено наличием у полуоснования цилиндра закругленных участков с меньшим вкладом в общий уровень теплового воздействия. При этом вертикальное расположение облучаемой поверхности является более опасным в сравнении с горизонтальным (рисунок 4).

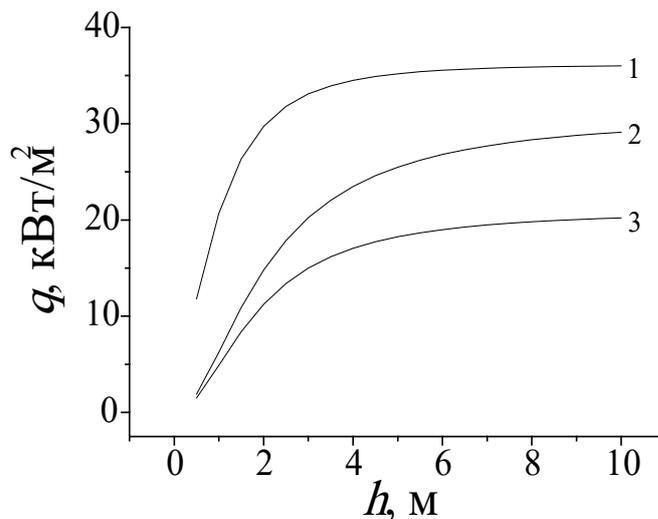


Рисунок 4 – Зависимость плотности лучистого теплового потока от высоты излучателя при удалении облучаемой поверхности на 1,5 м от плоского (1, 2) и цилиндрического (3) фронта пламени, где 1 – расчет по (13); 2, 3 – расчет по (12) и (7) соответственно.

Ширина излучателя 10 м, температура 1070 К

Как видно на рисунке 4, при горизонтальном расположении облучаемой поверхности тепловые фронты плоской и цилиндрической формы на высоте 0,5 м, что соответствует слабому низовому пожару, обеспечивает близкий уровень теплового воздействия (около 2 кВт/м²). Однако, при высоте пламени 2–3 м разбежка становится все более существенной, что объясняется незначительным вкладом в облучение закругленных верхних участков цилиндрического излучателя. При вертикальном расположении облучаемой поверхности уровень теплового воздействия от плоского фронта пламени высотой 0,5 м значительно выше и составляет около 12 кВт/м² на расстоянии 1,5 м. Указанное расстояние отвечает ширине создаваемых в

лесном фонде Беларуси и России минерализованных полос [15,18]. При формировании по-
вальных пожаров с высотой фронта пламени до 10 м тепловая нагрузка вблизи огня может
достигать 36 кВт/м². Важно отметить, что при высоте фронта пламени около 3 м уровень
теплового воздействия стабилизируется и в дальнейшем с ростом высоты излучателя пере-
стает существенно изменяться.

На рисунке 5 представлена зависимость плотности теплового потока от расстояния до
фронта пламени высотой 1,5 м, что соответствует среднему низовому пожару. Как и ожида-
лось, с удалением от огня тепловая нагрузка снижается. Так, например, при формировании
протяженного фронта пламени плоской формы уровень теплового воздействия на вертикаль-
но расположенную поверхность на расстоянии 0,5 м составляет 36 кВт/м².

При увеличении расстояния до 10 м тепловая нагрузка снижается до 3 кВт/м². При этом,
как указывалось ранее, при небольшой высоте фронта пламени для случая горизонтального
расположения облучаемой поверхности излучение цилиндрического фронта незначительно
уступает плоскому.

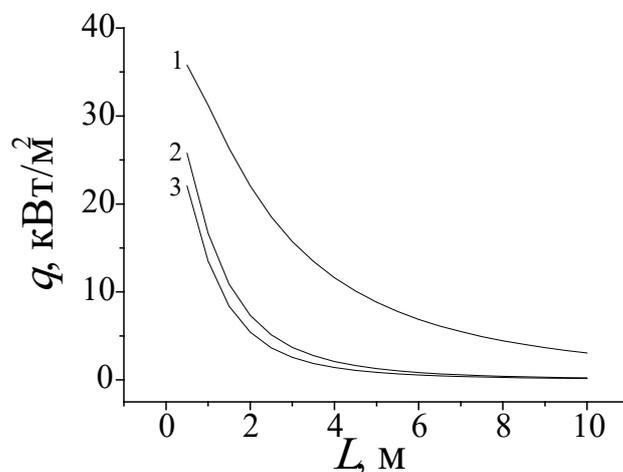


Рисунок 5 – Зависимость плотности лучистого теплового потока от расстояния до облучаемой
поверхности при высоте излучателя 1,5 м для плоского (1, 2) и цилиндрического фронта
пламени (3), где 1 – расчет по (13); 2, 3 – расчет по (12) и (7) соответственно.
Ширина излучателя 10 м, температура 1070 К

Важно отметить, что уровни тепловой нагрузки в зоне пожара существенно зависят от
температуры пламени. Известно, что при горении напочвенного покрова в составе мха, лишай-
ника, опада хвои, листвы, мелких веток, коры температура пламени составляет 870–1070 К [2].
В случае горения древесины температура несколько выше и достигает 1300 К [16]. На рисунке
6 видно, что изменение температуры пламени от 870 до 1300 К в случае плоского фронта высо-
той 1,5 м приводит к увеличению уровня теплового воздействия на вертикально расположенную
поверхность, удаленную на 1,5 м, с 11,5 до 56,7 кВт/м².

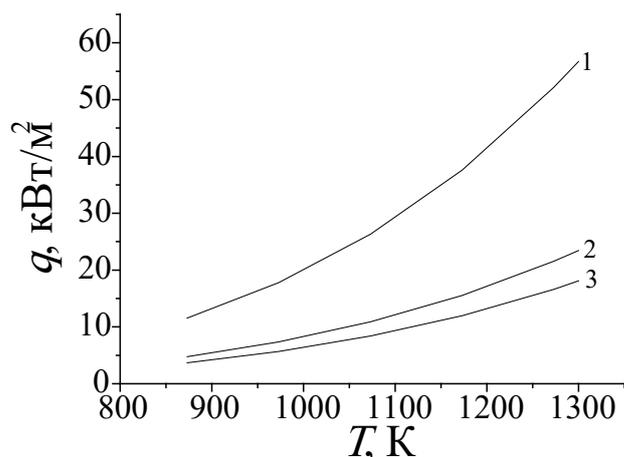


Рисунок 6 – Зависимость плотности лучистого теплового потока от температуры излучателя шириной 10 м для плоского (1, 2) и цилиндрического теплового фронта (3), где 1 – расчет по (13); 2, 3 – расчет по (12) и (7) соответственно. Высота излучателя и расстояние до облучаемой поверхности 1,5 м

Весьма существенно, что выбранная в качестве оценочной ширина фронта пламени в 10 м (рисунки 4-6) является вполне реализуемой в условиях лесных пожаров [15,17]. При этом в засушливые периоды могут формироваться огневые фронты и больших размеров. Однако, дальнейшее их увеличение, как и уменьшение, не вызывает существенных изменений в уровне теплового воздействия по причине незначительного вклада краевых участков излучателя в результирующую плотность лучистого теплового потока. В качестве примера на рисунке 7 представлены зависимости плотности теплового потока от расстояния до вертикально расположенной облучаемой поверхности для плоских фронтов высотой 1,5 м различной ширины. Как видно, при увеличении ширины фронта пламени с 5 до 15 м тепловая нагрузка изменяется не более, чем в 1,2 раза.

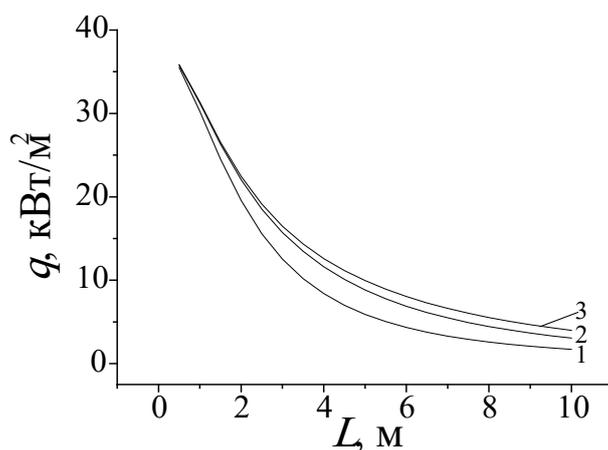


Рисунок 7 – Зависимость плотности лучистого теплового потока, рассчитанной по (13) от расстояния до облучаемой поверхности при ширине излучателя, м: 5 (1), 10 (2), 15 (3). Высота и температура излучателя 1,5 м и 1070 К соответственно

Следует отметить, что полученные и представленные на рисунках 4–7 значения тепловой нагрузки при лесном пожаре согласуются с результатами натурных экспериментов, описанных в работе [18].

Обсуждение

Установленные уровни тепловой нагрузки от протяженных фронтов пламени, характерных для лесных пожаров, позволяют решить комплекс задач по повышению защищенности природных экосистем и безопасности спасателей при ликвидации возгораний. Важное место в системе лесопожарной защиты отводится созданию противопожарных барьеров, ограничивающих распространение горения. Ширина барьера должна обеспечить снижение уровня тепловой нагрузки на лесной горючий материал до безопасного значения. На основании полученных данных разработана методика расчета ширины противопожарных барьеров, адаптированная для условий аномальной засухи с низким уровнем влажности напочвенного покрова и высоким риском возникновения лесных пожаров. В основу методики положены результаты лабораторных исследований воспламеняемости лесного горючего материала при воздействии теплового излучения, приведенные в работе [19], и представленные выше закономерности распределения тепловой нагрузки при пожаре.

С учетом того, что увеличение высоты фронта пламени свыше 3 м, равно как и ширины более 10 м, существенно не сказывается на уровне теплового воздействия, указанные параметры приняты в качестве оптимальных в разработанной методике. Температура пламени принята 1070 К, что соответствует горению напочвенного покрова.

В общем виде методика включает два этапа.

На первом этапе определяется критическая плотность лучистого теплового потока для лесного горючего материала:

$$q = C - B_1 w + B_2 w^2, \quad 10 \leq w \leq 30, \quad (14)$$

где w – влажность лесного горючего материала, %;

C , B_1 и B_2 – коэффициенты, равные 20 кВт/м², 0,25 кВт/м² и 0,025 кВт/м² соответственно.

В связи с тем, что критическая тепловая нагрузка характеризует ее минимальное значение, при котором происходит воспламенение лесного горючего материала, для обеспечения безопасности уровень теплового воздействия за противопожарным барьером должен быть меньше критического значения. Следовательно, величину плотности лучистого теплового потока, определенную по выражению (14), необходимо уменьшить на 5 кВт/м², как это делается при определении воспламеняемости строительных материалов [20]. В таком случае создаются условия, исключающие возможность воспламенения напочвенного покрова от формируемой при пожаре тепловой нагрузки.

На втором этапе определяется ширина противопожарного барьера:

$$L = C - B_1(q - 5) + B_2(q - 5)^2, \quad (15)$$

где C , B_1 , B_2 – коэффициенты, зависящие от высоты фронта пламени (h , м), приведенные в таблице 1.

Таблица 1 – Коэффициенты для выражения (15)

h , м	C , м	B_1 , м ³ /кВт	B_2 , м ⁵ /кВт ²
1	5,5	0,280	0,0040
1,5	7,2	0,343	0,0047
2	8,8	0,406	0,0053
2,5	9,7	0,426	0,0053
3	10,6	0,446	0,0053

Пример расчета по разработанной методике.

Задача. Необходимо определить ширину минерализованной полосы, ограничивающей распространение фронта пламени высотой до 3 м, для условий аномальной засухи с влажностью лесного горючего материала около 10 %.

Решение задачи.

1. По выражению (14) определяем критическую плотность лучистого теплового потока (q , кВт/м²) для лесного горючего материала влажностью 10 %.

$$q = C - B_1 w + B_2 w^2 = 20 - 0,25 \cdot 10 + 0,025 \cdot 10^2 = 20 \text{ кВт/м}^2.$$

2. По выражению (15) определяем требуемую ширину минерализованной полосы.

$$L = C - B_1(q - 5) + B_2(q - 5)^2 = 10,6 - 0,446 \cdot 15 + 0,0053 \cdot 15^2 = 5,1 \text{ м}.$$

Таким образом, ширина противопожарного барьера для принятых условий задачи должна составлять не менее 5,1 м.

При условии формирования сильных низовых пожаров с высотой фронта пламени 2,5 м, или средних с высотой фронта 1 м, при прочих аналогичных параметрах задачи, ширина минерализованной полосы, определенная по данной методике, должна составлять 4,5 м и 2,2 м соответственно.

Заключение

В результате проведенных исследований можно сделать следующие основные выводы:

1. Протяженные плоские фронты пламени, характерные для условий развившихся пожаров, в сравнении с цилиндрическими, наблюдающимися в начальной стадии горения, более пожароопасны по интенсивности теплового излучения. При этом большему тепловому воздействию подвергаются лесные горючие материалы, имеющие более выраженное вертикальное расположение.

2. Одним из основных параметров, влияющих на уровень тепловой нагрузки, является температура пламени, которая определяется видом горючего материала и изменяется от 870 К для напочвенного покрова до 1300 К для древесины. Увеличение высоты и ширины фронта пламени свыше 3 и 10 м соответственно не приводит к существенному изменению тепловой нагрузки, что позволяет использовать данные значения в качестве оптимальных при определении ширины противопожарных барьеров.

3. Плоские фронты пламени лесных пожаров высотой 1-3 м и шириной около 10 м способны формировать лучистые тепловые потоки плотностью до 60 кВт/м², что значительно превосходит значение тепловой нагрузки, вызывающей воспламенение лесной растительности в засушливые периоды, и требует создания противопожарных барьеров повышенной ширины.

4. В условиях аномальной засухи, приводящей к уровню влажности лесного горючего материала около 10 %, для ограничения распространения пожаров с высотой фронта пламени 3 м и более требуется создание противопожарных барьеров шириной не менее 5,1 м. Для обычных погодных условий с влажностью напочвенного покрова 30 % при указанной высоте огня достаточно барьера шириной 2 м.

Список литературы

- 1 Baranovskiy, N.V. Forest Fire Danger Prediction Using Deterministic-Probabilistic Approach [Text] / N.V. Baranovskiy. – Hershey: IGI Global, 2021. - P.297.
- 2 Mudan, K.S. Thermal radiation hazards from hydrocarbon pool fires [Text] / K.S. Mudan // Prog. Energy. Combust. Sci. - 1986. - № 10. - P. 59-80.
- 3 Волокитина, А.В. Защита населенных пунктов от природных пожаров [Текст] / А.В. Волокитина, Т.М. Софронова // Пожаровзрывобезопасность. - 2011. - Т. 20. - № 3. - С. 22-31.
- 4 Степанов, К.Л. Тепловое излучение взрыва: Оценки риска термического поражения людей и возникновения пожаров [Текст] / К.Л. Степанов, Л.К. Станчиц, Ю.А. Станкевич // Вестн. Команд.-инженер. ин-та МЧС Респ. Беларусь. - 2011. - № 1(13). - С. 31-45.
- 5 Bufacchi, P. Numerical simulation of surface forest fire in Brazilian Amazon [Text] / P. Bufacchi, G.C. Krieger, W. Mell, E. Alvarado, J.C. Santos, J.A. Carvalho Jr. // Fire Saf. J. - 2016. - № 79. - P. 44-56.
- 6 Padhi, S. Computational investigation of flame characteristics of a nonpropagating shrub fire [Text] / S. Padhi, B. Shotorban, S. Mahalingam // Fire Saf. J. - 2016. - № 81. - P. 64-73.

- 7 Padhi, S. A computational study of the interactions of three adjacent burning shrubs subjected to wind [Text] / S. Padhi, B. Shotorban, S. Mahalingam // Fire Saf. J. - 2017. - № 91. - P. 749-757.
- 8 Regueira, R. Numerical simulation of the fire behaviour of timber dovetail connections [Text] / R. Regueira // Fire Saf. J. - 2018. - № 96. - P. 1-12.
- 9 Morvan, D. A 3D physical model to study the behavior of vegetation fires at laboratory scale [Text] / D. Morvan [et. al.] // Fire Saf. J. - 2018. - № 101. - P. 39-52.
- 10 Гришин, А.М. Математические модели лесных пожаров [Текст]: А.М. Гришин. – Томск: Изд-во Томского ун-та, 1981. - 278 с.
- 11 Доррер, Г.А. Динамика лесных пожаров [Текст]: Г.А. Доррер. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2008. - 404 с.
- 12 Система стандартов безопасности труда. Пожарная безопасность. Общие требования [Текст]: ГОСТ 12.1.004-91. – Введ. 01.07.92. – М.: Гос. комитет по стандартизации: МВД СССР, 1991. - 80 с.
- 13 Еврокод 1. Воздействия на конструкции. Часть 1-2. Общие воздействия. Воздействия для определения огнестойкости [Текст]: ТКП EN 1991-1-2-2009. – Введ. 01.01.10. – Минск: Мин-во архитектуры и строительства Респ. Беларусь: РУП «Стройтехнорм», 2009. - 52 с.
- 14 Гусев, В.Г. Оценка облученности пожарных перед кромкой низового и верхового лесных пожаров [Текст] / В.Г. Гусев. // Лесные пожары и борьба с ними : сб. науч. тр. / ЛенНИИЛХ ; редкол.: Е.С. Арцыбашев [и др.]. – Л., 1989. - С. 133–137.
- 15 Гусев, В.Г. Физико-математические модели распространения пожаров и противопожарные барьеры в сосновых лесах [Текст]: В.Г. Гусев. – СПб.: НИИ ЛХ, 2005. - 200 с.
- 16 Кошмаров, Ю.А. Термодинамика и теплопередача в пожарном деле [Текст]: Ю.А. Кошмаров, М.П. Башкирцев. – М. : Внешторгиздат, 1987. - 444 с.
- 17 Усеня, В.В. Лесные пожары, последствия и борьба с ними [Текст]: В.В. Усеня. – Гомель: Ин-т леса НАН Беларуси, 2002. - 206 с.
- 18 Linn, R. A transport model for prediction of wildfire behavior [Text]: R. Linn. – Las Cruces: New Mexico State University, 1997. - 195 p.
- 19 Гоман, П.Н. Воспламеняемость лесного горючего материала при воздействии теплового потока [Текст] / П.Н. Гоман // Труды СПбНИИЛХ. - 2023. - № 3. - С. 112–123.
- 20 Материалы строительные. Метод испытания на воспламеняемость [Текст]: ГОСТ 30402–96. – Введ. 30.03.97. – Минск : Мин-во архитектуры и строительства Респ. Беларусь: ФГУП ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко, 1996. - 27 с.

References

- 1 Baranovskiy, N.V. Forest Fire Danger Prediction Using Deterministic-Probabilistic Approach [Text] / N.V. Baranovskiy. – Hershey: IGI Global, 2021. – P.297.
- 2 Mudan, K.S. Thermal radiation hazards from hydrocarbon pool fires / K.S. Mudan [Text] // Prog. Energy. Combust. Sci. - 1986. - № 10. - P. 59-80.
- 3 Volokitina, A.V. Zashchita naseleennykh punktov ot prirodnykh pozharov [Tekst] / A.V. Volokitina, T.M. Sofronova // Pozharovzryvobezопасnost'. - 2011. - Т. 20. - № 3. - С. 22-31.
- 4 Stepanov, K.L. Teplovoe izluchenie vzryva: Otsenki riska termicheskogo porazheniya lyudei i vozniknoveniya pozharov [Tekst] / K.L. Stepanov, L.K. Stanchits, Yu.A. Stankevich // Vestn. Komand.-inzhener. in-ta MChS Resp. Belarus'. - 2011. - № 1(13). - С. 31-4.
- 5 Bufacchi, P. Numerical simulation of surface forest fire in Brazilian Amazon [Text] / P. Bufacchi, G.C. Krieger, W. Mell, E. Alvarado, J.C. Santos, J.A. Carvalho Jr. // Fire Saf. J. - 2016. - № 79. - P. 44-56.
- 6 Padhi, S. Computational investigation of flame characteristics of a nonpropagating shrub fire [Text] / S. Padhi, B. Shotorban, S. Mahalingam // Fire Saf. J. - 2016. - № 81. - P. 64–73.
- 7 Padhi, S. A computational study of the interactions of three adjacent burning shrubs subjected to wind [Text] / S. Padhi, B. Shotorban, S. Mahalingam // Fire Saf. J. - 2017. - № 91. - P. 749-757.
- 8 Regueira, R. Numerical simulation of the fire behaviour of timber dov-tail connections [Text] / R. Regueira // Fire Saf. J. - 2018. - № 96. - P. 1-12.

- 9 A 3D physical model to study the behavior of vegetation fires at laboratory scale [Text] / D. Morvan [et. al.] // Fire Saf. J. - 2018. - № 101. - P. 39-52.
- 10 Grishin, A.M. Matematicheskie modeli lesnykh pozharov [Tekst]: A.M. Grishin. – Tomsk: Izd-vo Tomskogo un-ta, 1981. - 278 s.
- 11 Dorrer, G.A. Dinamika lesnykh pozharov [Tekst]: G.A. Dorrer. – Novosibirsk: Izd-vo SO RAN, 2008. - 404 s.
- 12 Sistema standartov bezopasnosti truda. Pozharnaya bezopasnost'. Obshchie trebovaniya [Tekst]: GOST 12.1.004-91. – Vved. 01.07.92. – M.: Gos. komitet po standartizatsii: MVD SSSR, 1991. - 80 s.
- 13 Evrokod 1. Vozdeistviya na konstruksii. Chast' 1-2. Obshchie vozdeistviya. Vozdeistviya dlya opredeleniya ognestoikosti [Tekst]: TKP EN 1991-1-2-2009. – Vved. 01.01.10. – Minsk: Min-vo arkhitektury i stroitel'stva Resp. Belarus': RUP «Stroitekhnorm», 2009. - 52 s.
- 14 Gusev, V.G. Otsenka obluchennosti pozharnykh pered kromkoi nizovogo i verkhovogo lesnykh pozharov [Tekst] / V.G. Gusev. // Lesnye pozhary i bor'ba s nimi: sb. nauch. tr. / LenNIILKh ; redkol.: E.S. Artsybashev [i dr.]. – L., 1989. - S. 133-137.
- 15 Gusev, V.G. Fiziko-matematicheskie modeli rasprostraneniya pozharov i protivopozharnye bar'ery v osnovnykh lesakh [Tekst]: V.G. Gusev. – Spb.: NII LKh, 2005. - 200 s.
- 16 Koshmarov, Yu.A. Termodinamika i teploperedacha v pozharnom dele [Tekst]: Yu.A. Koshmarov, M.P. Bashkirtsev. – M.: Vneshtorgizdat, 1987. - 444 s.
- 17 Usenya, V.V. Lesnye pozhary, posledstviya i bor'ba s nimi [Tekst]: V.V. Usenya. – Gomel': In-t lesa NAN Belarusi, 2002. - 206 s.
- 18 Linn, R. A transport model for prediction of wildfire behavior [Text]: R. Linn. – Las Cruces: New Mexico State University, 1997. - 195 p.
- 19 Goman, P.N. Vosplamenaemost' lesnogo goryuchego materiala pri vozdeistvii teplovogo potoka [Tekst] / P.N. Goman // Trudy SPbNIILKh. - 2023. - № 3. - S. 112–123.
- 20 Materialy stroitel'nye. Metod ispytaniya na vosplamenaemost' [Tekst]: GOST 30402–96. – Vved. 30.03.97. – Minsk: Min-vo arkhitektury i stroitel'stva Resp. Belarus': FGUP TsNIISK im. V.A. Kucherenko, 1996. - 27 s.

ӨРТ КЕЗІНДЕГІ ЖЫЛУ ӘСЕРІНІҢ ДЕҢГЕЙІН БАҒАЛАУ ЖӘНЕ ӨРТКЕ ҚАРСЫ БӨГЕТТІҢ ЕНІН ЕСЕПТЕУ

Гоман Павел Николаевич

Техника ғылымдарының кандидаты, доцент

«Беларусь Республикасы Төтенше жағдайлар министрлігінің Азаматтық қорғау университеті» мемлекеттік оқу мекемесі

Минск қ., Беларусь Республикасы

E-mail: g-pn83@mail.ru

Гончаренко Игорь Андреевич

Физика-математика ғылымдарының докторы, профессор

«Беларусь Республикасы Төтенше жағдайлар министрлігінің Азаматтық қорғау университеті» мемлекеттік оқу мекемесі

Минск қ., Беларусь Республикасы

E-mail: Ihar02@list.ru

Ильюшонок Александр Васильевич

Физика-математика ғылымдарының кандидаты, доцент

«Беларусь Республикасы Төтенше жағдайлар министрлігінің Азаматтық қорғау университеті» мемлекеттік оқу мекемесі

Минск қ., Беларусь Республикасы

E-mail: Ilyushonok@gmail.com

Түйін

Орман өрті кезінде радиациялық жылу ағынының тығыздығын бағалау жүргізілді. Жылу жүктемесінің деңгейі оның биіктігі мен енінен гөрі жалынның температурасына көбірек тәуелді екендігі анықталды. Осылайша, шамамен 1070 К өрт температурасы бар жер жамылғысын жағу кезінде термиялық әсер ету деңгейі 40 кВт/м² аспайды. Ағаш жану үшін жылу жүктемесі сәл жоғары және 50-60 кВт/м² құрайды, бұл орман өсімдіктерінің тұтанғыштық параметрлерінен асып түседі және ені ұлғайтылған өртке қарсы кедергілерді жасауды талап етеді. Жалын майданының жылу жүктемесінің таралуы және орман жанғыш материалының жанғыштығы туралы деректер негізінде топырақтың ылғалдылығы 10-30% болатын құрғақшылық жағдайларына бейімделген өртке қарсы бөгеттердің енін есептеу әдісі ұсынылған.

Кілт сөздер: орман өрті; жер жамылғысы; жалын фронты; жылу ағыны; жанғыштық; жану; өртке қарсы бөгет.

ASSESSMENT OF HEAT EXPOSURE LEVEL IN CASE OF FOREST FIRE AND CALCULATION OF FIRE BARRIER WIDTH

Pavel Goman

*Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor
University of Civil Protection of the Ministry for Emergency Situations
of the Republic of Belarus
Minsk, Republic of Belarus
E-mail: g-pn83@mail.ru*

Igor Goncharenko

*Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor
University of Civil Protection of the Ministry for Emergency Situations
of the Republic of Belarus
Minsk, Republic of Belarus
E-mail: Ihar02@list.ru*

Aliaksandr Ilyushonak

*Candidate of Physico-mathematical Sciences, Associate Professor
University of Civil Protection of the Ministry for Emergency Situations
of the Republic of Belarus
Minsk, Republic of Belarus
E-mail: Ilyushonok@gmail.com*

Abstract

The density of radiant heat flux during forest fires was assessed. It has been established that the level of heat load depends more on the temperature of the flame than on its height and width. It was established that the level of heat load depends to a greater extent on the temperature of the flame rather than on its height and width. Thus, when the ground cover burns, with a fire temperature of about 1070 K, the level of thermal impact does not exceed 40 kW/m². For wood, the heat load is slightly higher and amounts to 50-60 kW/m², which exceeds the flammability parameters of forest vegetation and requires the creation of fire barriers of increased width. Based on data on the distribution of heat load from the flame front and the flammability of forest combustible material, a method for calculating the width of fire barriers, adapted for drought conditions with a soil moisture level of 10-30 % is proposed.

Key words: forest fire; ground cover; flame front; heat flow; combustion; flammability; fire barrier.