

О ЗАЖИГАНИИ СЛОЯ ЛЕСНЫХ ГОРЮЧИХ МАТЕРИАЛОВ СВЕТОВЫМ ИЗЛУЧЕНИЕМ

А. М. Гришин, А. Н. Голованов, В. В. Медведев*

Томский государственный университет, 634050 Томск

*Томский политехнический университет, 634034 Томск

Экспериментально исследовано зажигание слоя лесных горючих материалов световым излучением. Определены минимальные значения плотности лучистого теплового потока от неодимового лазера и вольфрамовой лампы, необходимые для зажигания лесных горючих материалов. Установлено, что плотность теплового потока увеличивается с ростом влагосодержания и плотности слоя лесных горючих материалов и падает с ростом диаметра светового пятна, а критическая плотность потока от лазера превышает соответствующие значения плотности потока от лампы накаливания.

Известно [1], что тепловое зажигание реагирующих веществ в конечном счете определяется минимальной энергией, которую необходимо передать реагенту.

В данной работе экспериментально исследуется зажигание слоя лесных горючих материалов (ЛГМ) световым излучением, определяется критическая плотность светового потока от различных источников. Такая задача представляет интерес в связи с проблемой зажигания лесных массивов световым излучением в результате природных и техногенных катастроф [2-4].

Объект исследования — хвоинки сосны (моделирование слоя опада хвои) длиной $(3,5 \div 5,2) \cdot 10^{-2}$ м, диаметром $(0,9 \div 1,1) \cdot 10^{-3}$ м. Совокупность хвоинок с плотностью укладки $\rho = 5,97 \div 23,8$ кг/м³ и влагосодержанием $W = 7,5 \div 50,0$ % размещалась на керамической подложке вблизи источника зажигания. Источником зажигания служили лампа с вольфрамовыми нитями накаливания мощностью 750 Вт и неодимовый лазер ЛТН-103 непрерывного излучения с длиной волны $\lambda = 1,06 \cdot 10^{-6}$ м.

На рис. 1 представлена схема проведения экспериментов по зажиганию ЛГМ с помощью лампы, имеющей полусферический отражатель. На расстоянии $x = (5 \div 6) \cdot 10^{-2}$ м от лампы помещалась подложка с ЛГМ размером $a = (6 \times 6) \cdot 10^{-2}$ м. На ней размещался датчик плотности теплового потока с зачерненной поверхностью чувствительного элемента для определения минимальной плотности лучистого теплового потока ($q_{\text{л}}$) экспоненциальным методом [5, 6]. Сигнал от датчика как функция времени регистрировался осциллографом

С8-17. Погрешность определения $q_{\text{л}}$ не превышала 9,2 %. Время зажигания ЛГМ определялось секундомером с ценой деления 0,1 с.

На рис. 2 показана схема проведения опытов по зажиганию ЛГМ лазерным излучением. Луч света от генератора поступал в направлении оптической скамьи, отражаясь от зеркала. На оптической скамье устанавливались кювета с ослабляющим фильтром для варьирования значений плотности лучистого теплового потока; рассеивающая линза для получения светового пятна различного диаметра; подложка с ЛГМ, на которой размещались также датчик плотности теплового потока и датчик мощности лазерного излучения ОСИСМ-А. Электрический сигнал от датчика записывался на осциллографе С8-17. Погрешность измерений датчика ОСИСМ-А не превышала 4 %. Отличие в показаниях датчиков плотности теплового потока и ОСИСМ-А не более 5,7 %.

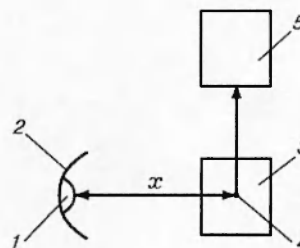


Рис. 1. Схема зажигания ЛГМ лампой с вольфрамовыми нитями накаливания:

1 — лампа, 2 — отражатель, 3 — подложка со слоем ЛГМ, 4 — датчик теплового потока, 5 — осциллограф

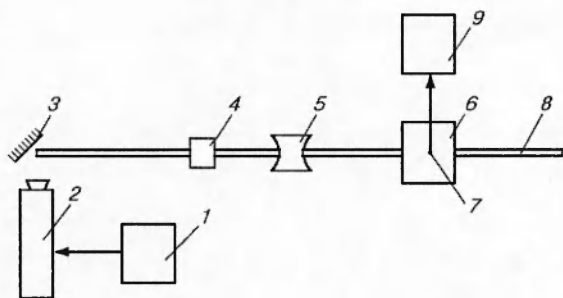


Рис. 2. Схема зажигания ЛГМ неодимовым лазером:

1 — источник питания, 2 — генератор светового излучения, 3 — зеркало, 4 — кювета, 5 — рассеивающая линза, 6 — подложка со слоем ЛГМ и датчиком мощности лазерного излучения, 7 — датчик теплового потока, 8 — оптическая скамья, 9 — осциллограф

При беспламенном (тлеющем) режиме зажигания ЛГМ происходил процесс пиролиза до образования коксового остатка без появления пламени, сопровождающийся дымообразованием. беспламенное зажигание наблюдалось на отдельных хвоинках, пламенное зажигание — на совокупности хвоинок.

По схеме зажигания ЛГМ, представленной на рис. 1, значение $q_{\text{л}}$ определялось отысканием эмпирическим путем расстояния x , где происходит зажигание, и составило

$$q_{\text{л}} = (19394 \pm \varepsilon) \text{ Вт/м}^2,$$

где $\varepsilon = 125 \text{ Вт/м}^2$. Доверительный интервал $I_p = (19394 - \varepsilon, 19394 + \varepsilon) \text{ Вт/м}^2$ рассчитывался по результатам шести опытов с доверительной вероятностью $\rho = 0,95$.

Времена беспламенного и пламенного зажигания составили соответственно $\tau_1 = (5,05 \pm 0,27) \text{ с}$, $\tau_2 = (20,6 \pm 2,1) \text{ с}$ при доверительной вероятности того и другого зажигания $P = 0,95$ и коэффициенте Стьюдента $t = 2,45$. При этом влагосодержание хвои, находившееся по формуле $W = (m - m_0)/m_0 \cdot 100 \%$, где m , m_0 — массы влажной и сухой хвои, составляло 9,8 %, а $\rho = 11,9 \text{ кг/м}^3$.

Предельную энергию зажигания определяли по формуле $E_{\text{min}} = q_{\text{л}} \tau (\pi d_{\text{ф}}^2 / 4)$, где $d_{\text{ф}} = 2\sqrt{s/\pi}$, s — средняя площадь миделева сечения хвоинок. Для беспламенного зажигания $E_{\text{min}} = 0,077 \text{ Дж}$, для пламенного $E_{\text{min}} = 0,314 \text{ Дж}$.

В работе [4] получены значения $q_{\text{л}} = (14,82 \div 20,9) \cdot 10^4 \text{ Вт/м}^2$ для зажигания живой хвои сосны с влагосодержанием $W = (m - m_0)/m_0 = 130 \%$ от излучающей теплографи-

товой пластины. Плотность укладки хвои не указана. Расхождение с данными, полученными в настоящей работе, объясняются сильной зависимостью условий зажигания ЛГМ от влагосодержания, плотности укладки хвои и типа источника зажигания.

По схеме зажигания ЛГМ, представленной на рис. 2, величина $q_{\text{л}}$ определялась варьированием интенсивности излучения за счет изменения силы тока в источнике питания, применения фильтра НС-7 и рассеивающей линзы. Результаты измерений $q_{\text{л}}$ при $\rho = 11,9 \text{ кг/м}^3$, $W = 9,8 \%$ представлены в табл. 1. Из таблицы видно, что зажигание ЛГМ от монохроматического источника света сильно зависит от диаметра светового пятна D (см. опыты № 4, 5, 10–14) и сопровождается большим разбросом значений τ_1 и τ_2 , что, по всей видимости, связано с условиями преломления, поглощения и отражения луча. Визуальные наблюдения свидетельствуют о сильной зависимости τ_1 и τ_2 от плотности и порядка укладки ЛГМ на подложке — продольная, поперечная, хаотическая укладка. При продольной укладке хвоинки сосны располагаются так, что направление лучистого потока параллельно элементам ЛГМ, при поперечной укладке — перпендикулярно хвоинкам.

Сравнение времен зажигания ЛГМ от лазера и лампы (см. опыты № 12–14) показывают на более раннее пламенное и беспламенное зажигание от монохроматического источника, что, возможно, связано с различием коэффициентов отражения и поглощения света вольфрамовой лампы и неодимового лазера.

В табл. 2 приведены значения плотности теплового потока и времен зажигания в зависимости от плотности укладки хвои и ее влагосодержания. Видно, что увеличение влагосодержания ЛГМ приводит к возрастанию времен зажигания, а увеличение плотности укладки хвои с $11,9 \cdot 10^{-3}$ до $23,8 \cdot 10^{-3} \text{ кг/м}^3$ слабо влияет на значения τ_1 и τ_2 .

Таким образом, определены минимальные значения плотности лучистого теплового потока, необходимые для зажигания ЛГМ.

Установлено, что величина $q_{\text{л}}$ повышается с ростом влагосодержания и плотности слоя ЛГМ и падает с ростом диаметра светового пятна, а плотность критического потока от лазера превышает соответствующие значения $q_{\text{л}}$ от лампы накаливания.

Таблица 1

Номер опыта	$q_{л}, \text{кВт/м}^2$	$\tau_1, \text{с}$	$\tau_2, \text{с}$	$D, 10^{-3} \text{ м}$
1	42,372	2,3	11,2	8
2	42,372	2,7	14,9	8
3	8,488	Нет зажигания	—	8
4	11,924	13,0	23,2	8
5	11,924	4,0	24,0	8
6	23,413	3,0	22,2	8
7	23,413	2,7	29,9	8
8	16,976	3,2	24,0	8
9	16,976	4,1	27,2	8
10	15,731	7,0	18,0	16
11	15,731	14,0	21,0	16
12	19,410	18,0	23,0	27
13	19,410	13,0	49,1	27
14	19,410	19,0	36,2	27

Таблица 2

Номер опыта	$q_{л}, \text{кВт/м}^2$	$\tau_1, \text{с}$	$\tau_2, \text{с}$	$W, \%$	$\rho, \text{кг/м}^3$
1	10,19	4,49	8,51	7,5	11,9
2	10,19	4,60	7,82	7,5	11,9
3	10,19	4,89	8,23	7,5	11,9
4	16,56	2,41	4,84	7,5	11,9
5	16,56	2,72	4,56	7,5	11,9
6	28,03	2,20	3,29	7,5	11,9
7	28,03	2,18	3,14	7,5	11,9
8	38,22	1,30	2,49	7,5	11,9
9	38,22	1,12	1,96	7,5	11,9
10	10,19	14,70	39,8	10,3	11,9
11	10,19	9,27	17,4	10,3	11,9
12	10,19	48,5	54,3	50,0	11,9
13	10,19	48,1	54,5	50,0	11,9
14	28,03	12,4	16,4	50,0	11,9
15	10,19	18,0	19,8	7,5	5,97
16	10,19	16,5	18,6	7,5	5,97
17	10,19	5,3	6,7	7,5	23,8
18	10,19	4,3	5,8	7,5	23,8
19	10,19	5,7	7,5	7,5	23,8

ЛИТЕРАТУРА

1. **Гришин А. М.** Математическое моделирование лесных пожаров и новые способы борьбы с ними. Новосибирск: Наука, 1992.
2. **Математическая** теория горения и взрыва / Б. Я. Зельдович, Г. И. Баренблатт, В. Б. Либрович, Г. М. Махвиладзе. М.: Наука, 1980.
3. **Гришин А. М., Ефимов К. Н., Перминов В. А.** Математическое моделирование зажигания лесных горючих материалов лесных массивов в результате столкновительных и техногенных катастроф в квазиодномерном приближении // Физика горения и взрыва. 1996. Т. 32, № 2. С. 18–30.
4. **Курбатский И. П.** О возникновении лесного пожара в районе падения Тунгусского метеорита / Проблемы метеоритики. Новосибирск: Наука, 1975. С. 68–71.
5. **Полежаев Ю. В., Юревич Ф. Б.** Тепловая защита. М.: Энергия, 1976.
6. **Гришин А. М., Абалтусов В. Е., Веснин А.И. и др.** Экспериментальное исследование механизма распространения верховых лесных пожаров и тепломассообмен фронта пожара с окружающей средой. Томск: ТГУ, 1982. Деп. в ВИНТИ 03.09.82, № 4873.

*Поступила в редакцию 30/VI 1998 г.,
в окончательном варианте — 26/I 1999 г.*
