



УДК 53-536.3

Применение метода Мартина в экспериментах по определению возможности зажигания лесных горючих материалов

© М. Н. Дёров

Determination of the possibility of ignition of combustible forest materials largest heat flux using the method of Martin

M. N. Duerov (Mikhailovskaya military artillery Academy)

The analysis of the possibility of ignition of forest combustible materials using the method of Martin's largest converted heat flow and converted the warm-up time.

Key words: the possibility of ignition, heat flow, warm-up time

Применение метода Мартина в экспериментах по определению возможности зажигания лесных горючих материалов

М. Н. Дёров

Проведен анализ возможности зажигания лесных горючих материалов с использованием метода Мартина по величине теплового потока и времени прогрева.

Ключевые слова: возможность зажигания, тепловой поток, время прогрева

Дёров Максим Николаевич, майор, соиск. ученой степ. канд. технических наук, преподаватель

Михайловская военная артиллерийская академия
195009, Санкт-Петербург, ул. Комсомола, д. 22
Тел.: (248-14-64,542-15-71)
E-mail: depob@rambler.ru

Существующие методики определения возможности зажигания лесных горючих материалов (ЛГМ) позволяют рассчитать вероятность возникновения пожара в лесном массиве от различных источников воспламенения. Однако они не использовались при оценке возможности воспламенения от огненного шара, который является продуктом внезапного испарения или утечки газа или газифицированного горючего, сопровождающегося их вспышкой и последующим нормальным или дефлаграционным горением.

Предлагается определять возможность воспламенения ЛГМ при создании модельных лесных пожаров от огненного шара по методике, изложенной ниже, которая основана на использовании метода Мартина, позволяющего определять процесс зажигания ЛГМ по известным величинам теплового потока и времени его воздействия на объект.

Процесс зажигания выделяющихся при пиролизе горючих летучих веществ может происходить в следующих режимах [2]:

- «вспышка с погасанием» — вспышка летучих веществ с последующим погасанием;
- «устойчивое зажигание» — зажигание с последующим самоподдерживающимся горением.

В каком режиме будет происходить зажигание, зависит от времени и интенсивности внешнего нагрева.

Если тепловой поток достаточно большой, то пиролиз происходит очень интенсивно. Летучие вещества быстро покидают поверхность материала, смешиваются с воздухом и образовавшаяся смесь воспламеняется. Однако если время воздействия теплового потока будет недостаточное, т. е. материал не успеет прогреться до нужной температуры, то при удалении источника теплового излучения происходит погасание газофазного пламени. Это так называемая «вспышка с погасанием».

Если тепловой поток достаточно большой и за время его воздействия материал успеет прогреться до нужной температуры, то в случае удаления источника нагрева для поддержания горения газофазной смеси достаточно теплового излучения от поверхности материала. Кроме

того, в твердом материале образуется глубокий прогретый слой, в котором протекает пиролиз, дополнительно поддерживающийся за счет излучения от пламени.

Однако при этом существуют критические значения теплового потока, падающего на поверхность различных материалов, ниже которых зажигание не произойдет при сколь угодно долгом времени его воздействия.

В предлагаемой методике следует определять продолжительность действия на материал теплового потока, необходимого для достижения на поверхности материала такой температуры, при которой произойдет устойчивое зажигание образца ЛГМ.

В методике предполагается, что:

- зажигание — это теплопередача вглубь горючего материала, а её основной механизм — теплопроводность;
- зажигание происходит, когда температура поверхности материала превышает критическое значение, т. е. достигает температуры зажигания — T_{ign} .

Время задержки зажигания определяется как время, необходимое для того, чтобы температура поверхности достигла температуры зажигания. Чем меньше тепловой поток, тем больше время задержки зажигания. Критический тепловой поток (который способен привести к зажиганию) для древесины сосны составляет 12,8 кВт/м², для ЛГМ — 9,3 [4]. Если тепловой поток меньше, то зажигания поверхности не произойдет при сколь угодно долгом прогреве.

В условиях данной задачи тепловой поток (q , кВт/м²) падает на поверхность толщиной δ . Характерное время прогрева слоя материала (время тепловой релаксации) составит:

$$t_h = \frac{\delta^2}{(\lambda/c \cdot \rho)} = \frac{\delta^2}{a}, \quad (1)$$

где λ — теплопроводность материала, Вт/м·К;

c — удельная теплоемкость, Дж/кг·К;

ρ — плотность материала, кг/м³;

δ — толщина поверхности, м;

$a = \lambda / (c \times \rho)$ — температуропроводность материала, м²/с.

Для определения значений времени прогрева необходимо учитывать, что существуют понятия термически тонкого и толстого слоя. Слой материала называется термически толстым, если время воздействия теплового потока t много меньше времени тепловой релаксации в нем (характерного времени прогрева):

$$t < t_h \quad (2)$$

В случае прогрева термически толстого слоя, вблизи поверхности материала возникает градиент температуры. Теплообмен на дальней границе этого слоя не влияет на прогрев поверхности материала, а сам материал может быть рассмотрен как полубесконечный массив. Таким образом, температура поверхности определяется по зависимости:

$$T = T_0 + \frac{q\sqrt{t}}{\sqrt{\frac{\pi}{4}\lambda \cdot \rho \cdot c}} \quad (3)$$

где T – температура поверхности материала с учетом прогрева за счет теплового потока; T_0 – начальная температура поверхности материала;

q – падающий тепловой поток.

Слой материала называется термически тонким, если время воздействия теплового потока t много больше времени тепловой релаксации в нем (времени прогрева):

$$t > t_h \quad (4)$$

В случае прогрева термически тонкого слоя материал прогревается по всей толщине, т. е. температура на дальней границе равна температуре на облучаемой поверхности. Теплообмен на дальней границе значительно влияет на прогрев поверхности материала. В случае если дальняя граница этого слоя теплоизолирована, то температура поверхности определяется по следующей зависимости:

$$T = T_0 + \frac{q \cdot t}{\rho \cdot c \cdot \delta} \quad (5)$$

Время задержки зажигания t_{ign} определяется для термически толстого слоя по следующей зависимости:

$$t_{ign} = \frac{\pi}{4} \lambda \cdot c \cdot \rho \left(\frac{T_{ign} - T_0}{q} \right)^2, \quad (6)$$

$$\text{при } t_{ign} < \frac{\delta^2}{a};$$

для термически тонкого слоя:

$$t_{ign} = \rho \cdot c \cdot \delta \left(\frac{T_{ign} - T_0}{q} \right), \quad (7)$$

$$\text{при } t_{ign} > \frac{\delta^2}{a}$$

Порядок расчета времени задержки зажигания по формулам 6 и 7 следующий:

- делается предположение о принадлежности слоя к термически тонкому или к термически толстому;
- вычисляется время задержки зажигания;
- проверяется правильность предположения о характеристике слоя, т. е. сравнивается величина времени задержки зажигания с временем тепловой релаксации.

Существует и другой способ расчета – это вычисление времени задержки зажигания для термически тонкого и толстого слоев и взятие наименьшего значения:

$$t_{ign} = \min \left(\frac{\pi}{4} \lambda \rho c \left(\frac{T_{ign} - T_0}{q} \right)^2, \rho c \delta \frac{T_{ign} - T_0}{q} \right) \quad (8)$$

В методике принят ряд допущений, а именно: тепловой поток не меняется со временем, время его воздействия эквивалентно времени жизни огненного шара – 2 секунды, температура огненного шара – 2000 °С. В то же время поток, поступающий вглубь материала, меняется во времени за счет конвективной теплоотдачи с нагреваемой поверхности. Более того, с ростом температуры поверхности теплоотдача также увеличивается.

Влияние теплоотдачи на зажигание материала объясняют закономерности, полу-

ченные в экспериментах с зажиганием лесных горючих материалов [3]. Обобщая результаты измерений времени задержки зажигания материалов разной плотности, и используя метод Мартина, который заключается в преобразовании исходных величин в координаты:

$$\frac{q\delta}{\lambda}$$

λ – преобразованный тепловой поток и

$$\frac{qt}{\rho c \delta}$$

$\rho c \delta$ – преобразованное время прогрева, каждая из которых имеет размерность температур (рис. 1).

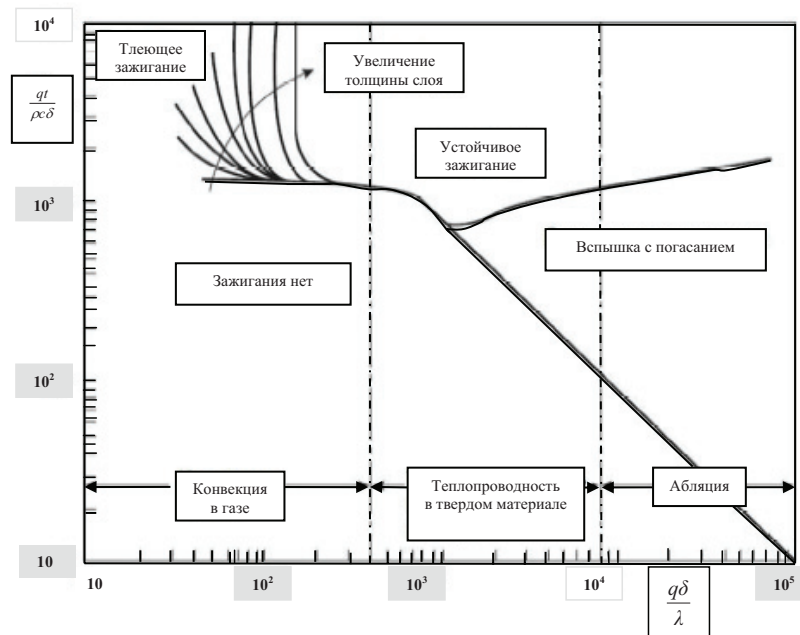


Рис. 1. Диаграмма Мартина

Левый верхний угол диаграммы, соответствует малым падающим потокам и длительным временам прогрева. Слой материала оказывается термически тонким, и реализуется так называемое тлеющее зажигание (прокаливание) материала. На рисунке указаны области параметров, где зажигание устойчиво (приводит к самоподдерживающемуся горению при удалении внешнего источника тепла), происходит в форме вспышки с последующим погасанием, если внешний источник удаляется, и, наконец, не происходит вообще.

Кроме того, в нижней части диаграммы показано, что происходит смена механизмов, контролирующих процесс зажигания. В усло-

виях малых тепловых потоков и длительного прогрева в твердом материале устанавливается квазистационарное температурное поле, не зависящее от термического сопротивления материала: лимитирующим фактором является теплопередача через пограничный слой газа. При больших значениях теплового потока и более быстром зажигании именно теплопроводность материала определяет темп нагрева приповерхностного слоя. Наконец, при очень больших тепловых потоках и, соответственно, высоких температурах в материале протекают химические реакции (абляция) с заметным тепловым эффектом: материал перестает быть химически инертным [1].

Таблица
 Величина теплового потока на различных удалениях от центра огненного шара,
 имеющего радиус 10 м

Удаление от центра огненного шара, м	Угол между направлением на центр излучателя и стороны излучателя, град.	Расстояние от источника воспламенения, м	Значение хорды в зависимости от угла на шар, м	Приведенные размеры сторон плоскости излучения, м	Площадь излучаемой поверхности, м ²	Угловой коэффициент излучения огненного шара	Тепловой поток, кВт/м ²
1	2	3	4	5	6	7	8
15	42	8,333	14,907	13,211	174,533	37,532	57,7*
20	30	15,000	17,321	15,350	235,619	25,952	39,6*
25	24	21,000	18,330	16,245	263,894	18,368	28,3*
30	20	26,667	18,856	16,711	279,253	13,407	20,6*
35	16	32,143	19,166	16,986	288,514	10,087	15,5*
40	14	37,500	19,365	17,162	294,524	7,799	12,1*
45	13	42,778	19,500	17,281	298,645	6,177	9,5
50	11	48,000	19,596	17,366	301,593	4,994	7,6
55	10	53,182	19,667	17,429	303,774	4,110	6,3
60	9	58,333	19,720	17,477	305,433	3,434	5,3
65	8	63,462	19,762	17,514	306,724	2,909	4,4
70	8	68,571	19,795	17,543	307,748	2,492	3,8
75	7	73,667	19,821	17,566	308,574	2,157	3,3
80	6	78,750	19,843	17,586	309,251	1,884	2,9
85	6	83,824	19,861	17,601	309,811	1,659	2,5
90	5	88,889	19,876	17,615	310,281	1,472	2,2
95	4	93,947	19,889	17,626	310,678	1,314	2,0
105	4	104,048	19,909	17,644	311,310	1,065	1,8
110	3	109,091	19,917	17,651	311,563	0,966	1,6
115	3	114,130	19,924	17,657	311,784	0,880	1,4
120	3	119,167	19,930	17,663	311,978	0,805	1,3
125	3	124,200	19,936	17,668	312,149	0,739	1,2

Примечание. Область значений со звездочкой – величины теплового потока, при которых происходит зажигание ЛГМ.

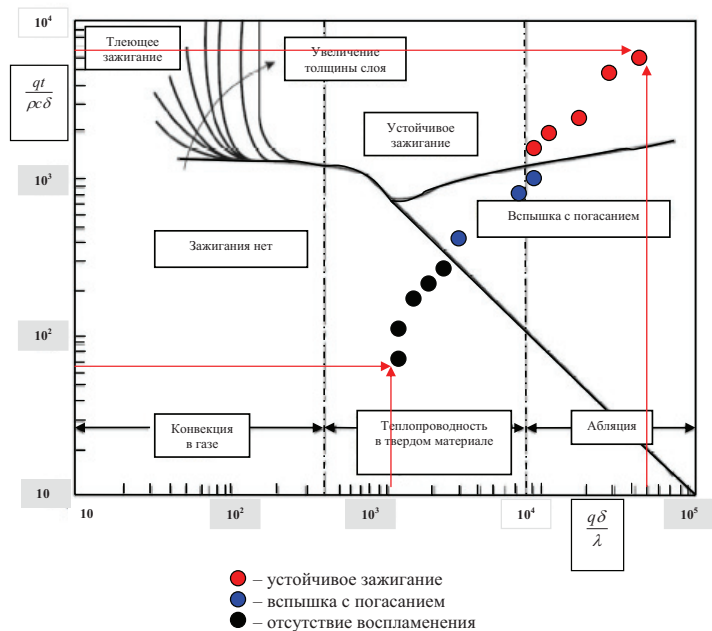


Рис. 2. Оценка падающего теплового потока

Для оценки возможности устойчивого зажигания в методике определяется, в какую область попадает исследуемый сценарий зажигания лесных горючих материалов, т. е. необходимо подсчитать $\frac{q\delta}{\lambda}$, $\frac{qt}{\rho c\delta}$ и определить, в какой области окажется точка с координатами $(\frac{q\delta}{\lambda}, \frac{qt}{\rho c\delta})$.

По рассчитанной величине теплового потока, в зависимости от удаления от центра огненного шара, происходит оценка события зажигания (рис. 2), где показаны рассчитанные

значения, при которых произойдет устойчивое зажигание.

В таблице представлены рассчитанные значения величины теплового потока и звездочкой выделены те значения, при которых происходит устойчивое зажигание по предлагаемому сценарию при радиусе огненного шара 10 метров.

Таким образом, вышеизложенная методика, основанная на использовании метода Мартина, позволила определить возможность зажигания лесных горючих материалов от огненного шара радиусом 10 метров, создаваемого различными источниками, на различных удалениях от его центра.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Драйздел, Д. Введение в динамику пожаров / Пер. с англ. К.Г. Бомштейна; под ред. Ю.А. Кошмарова, В.Е. Макарова. – М.: Стройиздат, 1990. – 424 с.
2. Снегирев, А.Ю. Теоретические основы пожаро- и взрывобезопасности. Горение неперемешанных реагентов: учеб. пособие / А.Ю. Снегирев, В.А. Талалов. СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2008. – 212 с.
3. Martin, S.B. Diffusion-Controlled Ignition of Cellulosic Materials by Intense Radiant Energy / S.B. Martin // Proceedings of the Combustion Institute. 1965. – Vol. 10. – P. 877.
4. Quintiere, J.G. Principles of Fire Behavior / J.G. Quintiere. – Delmar Publishers, 1997. – 258 pp.