

**Металлургия и материаловедение**

УДК 699.81

DOI:10.12737/article\_58f9c4d93103c4.04676064

В.В. Копытков, А.В.Шныпарков, П.А. Старовойтов

**УЧЕТ ИНТЕНСИВНОСТИ ТЕПЛООВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ПРИ НАНЕСЕНИИ СОСТАВОВ НА ПОВЕРХНОСТЬ ЗАЩИЩАЕМЫХ КОНСТРУКЦИЙ**

Рассматривается возможность нанесения слоя гелевой жидкости на поверхности защищаемых конструкций в качестве меры, препятствующей воспламенению конструкции на протяжении определенного времени. В статье получена аналитическая зависимость температуры внутри образца кон-

струкции от толщины слоя гелевой жидкости, нанесенной на образец с течением времени.

**Ключевые слова:** плотность теплового потока, тепловое излучение, температура воспламенения, высота пламени, краевые условия.

V.V. Kopytkov, A.V. Shnyarkov, P.A. Starovoytov

**THERMAL RADIATION INTENSITY WHEN USING COMPOSITIONS ON THE SURFACE OF THE PROTECTED CONSTRUCTIONS**

Fire gaps between buildings and household out-buildings on neighboring private plots are regulated in accordance with the technical normative acts (TNA) [1] and can make from 6 to 15 m depending on building levels of resistance to fire. Fire gaps don't often follow these standards because of a number of factors. One of the security techniques of inflammable structures is a gel application on the construction surface which is under thermal radiation because of the near vicinity of the radiation source.

By means of a mathematical apparatus it is shown that using a layer of gel liquid 1 cm thick on a surface of inflammable structures and at direct impact of the thermal flow with 10 kilowatt/m<sup>2</sup> density on a wood sample, sample ignition happens in 280 - 290 seconds

after the beginning of influence. In the presence of a 0,5 cm layer of gel liquid ignition occurs in 140 - 150 seconds after the beginning of influence of the thermal radiation.

Thus, the temperature value in a layer boundary with wood depends on the thickness of composition layer. When using a composition layer on the protected constructions made of wood we may avoid any spreading of the fire in nearby structures that will lead to minimization of material losses and considerable decrease of human casualties.

**Keywords:** thermal flow density, thermal radiation, ignition temperature, flame height, boundary conditions.

**Введение**

В современных условиях становится актуальной проблема несоответствия противопожарных разрывов между малоэтажными жилыми домами в секторе индивидуальной жилой застройки по причине ее высокой плотности. В результате этого возникновение пожара влечет за собой значительные материальные потери, а нередко приводит к человеческим жертвам [1]. Противопожарные разрывы между зданиями и хозяйственными постройками на соседних приусадебных участках нормируются в соответствии с действующими ТНПА [1] и могут составлять от 6 до 15 м в зависимости от степени огнестойкости здания.

Подходы к решению данной задачи

немногочисленны: возведение противопожарной стены первого типа [2], что влечет значительные материальные затраты; расчет суммарной площади застройки [3], что, собственно, не исключает возможности распространение огня на близлежащие постройки; расчет интенсивности теплового излучения при пожаре [4].

В данной работе рассматривается возможным вариантом решения проблемы нанесение слоя состава, который будет снижать величину теплового воздействия на поверхности защищаемых конструкций из древесины. Передача тепла через состав к защищаемой конструкции происходит за счет теплопроводности самого состава и его твердых продуктов разложения. Таким образом, решающим фактором, опреде-

ляющим эффективность состава в условиях пожара, является теплоизолирующая способность, которая зависит от толщины покрытия.

### Постановка задачи

Рассмотрим расчет интенсивности теплового излучения при пожаре (рис. 1).

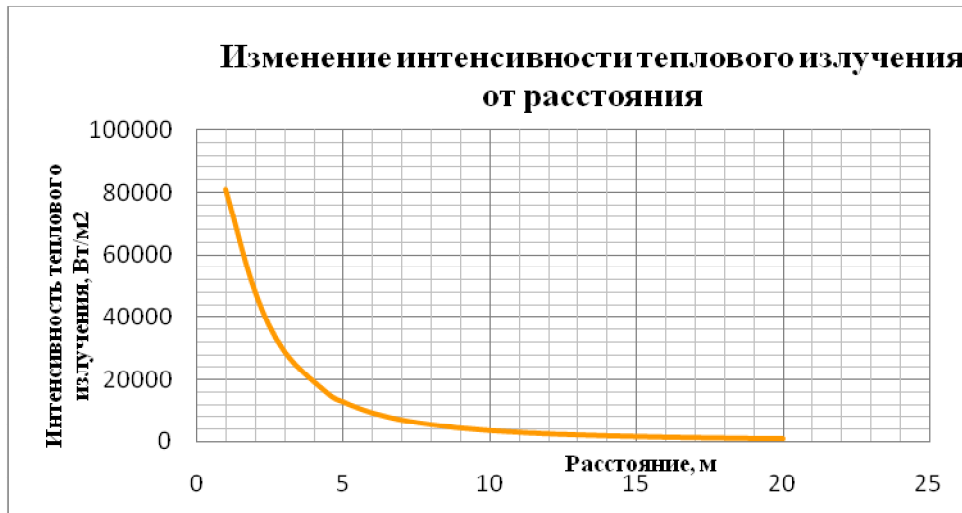


Рис.1 – Зависимость интенсивности теплового излучения от расстояния

В качестве материала, который принимает облучение, будем рассматривать древесину. Критические значения интенсивности облучения для древесины изменяются в зависимости от времени облучения (табл. 1).

Таблица 1

Соотношение минимальной интенсивности и продолжительности облучения

| Материал  | Минимальная интенсивность облучения, Вт/м <sup>2</sup> ,<br>при продолжительности облучения, мин |        |        |
|-----------|--|--------|--------|
|           | 3  | 5      | 15     |
| Древесина | 18 800   | 16 900 | 13 900 |

Поставим задачу определения температуры образца материала при нанесении слоя состава. Для этого необходимо определить температуру образца в граничном с составом слое, которая будет начальной температурой для образца.

При одностороннем воздействии теплового потока уравнение распределения температуры внутри образца будет иметь вид [5]:

$$cp \frac{dT}{dt} = \lambda \frac{d^2T}{dx^2}, \quad (1)$$

где  $c$  – удельная теплоемкость материала, Дж/(кг·К);  $\rho$  – плотность материала, кг/м<sup>3</sup>;  $T$  – температура материала, К;  $\lambda$  – коэффициент теплопроводности материала, Вт/(м·К); причем, краевые условия будут иметь вид  $0 \leq x \leq D$ , где  $D$  – толщина защитного слоя состава. Начальная температура равна температуре окружающей среды. Будем также предполагать, что через грань  $x = D$  плотность теплового потока постоянна и равна  $q$ .

Решение данной задачи рассматривается в [5] и [6] и будет иметь вид:

$$T = \frac{q}{\lambda} \left[ \frac{\lambda t}{cp} - \frac{D^2 - 3x^2}{6D} + D \sum_{n=1}^{\infty} (-1)^{n+1} \frac{2}{(\pi n)^2} \cos\left(\frac{\pi n x}{D}\right) e^{-\left(\frac{n^2 \pi^2 \lambda t}{cp D^2}\right)} \right] + T_0, \quad (2)$$

где  $T$  – температура материала, К;  
 $q$  – плотность лучистого теплового потока, Вт/м<sup>2</sup>;  $\lambda$  – коэффициент теплопроводности материала, Вт/(м·К);  $c$  – удельная теплоемкость материала, Дж/(кг·К);  $\rho$  – плотность материала, кг/м<sup>3</sup>;  $t$  – время облучения, с;  
 $D$  – толщина слоя материала, м;  
 $T_0$  – температура окружающей среды, К;  
 $x$  – координата точки наблюдения в слое состава, м.

Из уравнения (2) определим температуру состава в граничном с образцом слое, т.е. при  $x=0$ . Пользуясь уравнением (1), составленным уже из предположения нагрева образца древесины и решая его, найдем распределение температуры в любой точке образца.

Для определения плотности теплового потока, воспринимаемой образцом, вос-

$$\varphi_{1\phi} = \frac{2}{\pi} \left( \frac{a}{\sqrt{a^2 + r^2}} \operatorname{arctg} \frac{b}{\sqrt{a^2 + r^2}} + \frac{b}{\sqrt{b^2 + r^2}} \operatorname{arctg} \frac{a}{\sqrt{b^2 + r^2}} \right), \quad (5)$$

где  $a = H/2$ ;  $b = d/2$ ;

Высота пламени  $H$ , м, определяется по формуле:

$$H = 42d \left( \frac{m}{\rho_B \sqrt{gd}} \right)^{0,61},$$

$r$  – расстояние между излучающей и облучаемой поверхностями, м.

Эффективный диаметр горения  $d$ , м, определяется по формуле:

$$d = \sqrt{\frac{4F}{\pi}}, \quad (6)$$

где  $F$  – площадь очага пожара, м<sup>2</sup>.

Исходя из сделанных выкладок, определяем плотность теплового потока непосредственно перед слоем состава и на границе его с образцом.

Температура во внутреннем слое геля, нанесенном на поверхность образца, будет определяться из уравнения (2).

Графически зависимость температуры на поверхности древесины от времени воздействия тепловым потоком плотностью 10 кВт/м<sup>2</sup>, 15 кВт/м<sup>2</sup>, 20 кВт/м<sup>2</sup> при нанесении на поверхность облучаемого материала состава толщиной 1 сантиметр

пользуемся формулой [3]:

$$q = 5,7 \varepsilon_{np} \left[ \left( \frac{T_{\phi}}{100} \right)^4 - \left( \frac{T_{св}}{100} \right)^4 \right] \cdot \varphi_{1\phi}, \quad (3)$$

где  $\varepsilon_{np}$  – приведенная степень черноты системы:

$$\varepsilon_{np} = \left( \frac{1}{\varepsilon_{\phi}} + \frac{1}{\varepsilon_{св}} - 1 \right)^{-1}, \quad (4)$$

где  $\varepsilon_{\phi}$  – степень черноты факела, для древесины  $\varepsilon_{\phi} = 0,7$ , для нефтепродуктов  $\varepsilon_{\phi} = 0,85$ ;  $\varepsilon_{св}$  – степень черноты облучаемого вещества, для древесины  $\varepsilon_{св} = 0,9$ ;  
 $T_{\phi}$  – температура факела пламени, К;  
 $T_{св}$  – температура горячего вещества, К.

Коэффициент облученности между излучающей и облучаемой поверхностями вычисляется по формуле:

показана на рис. 2. Удельную теплоемкость гелевого слоя принимаем равной 4182 Дж/(кг·К).

В зависимости от вида древесины температура воспламенения составляет 230-250°. Из вышеуказанного графика мы видим, что при тепловом излучении плотностью 10 кВт/м<sup>2</sup>, воспламенение произойдет через 280 - 290 секунд после начала воздействия теплового излучения.

Для сравнения рассмотрим зависимость температуры на поверхности древесины от времени воздействия тепловым потоком плотностью 10 кВт/м<sup>2</sup>, 15 кВт/м<sup>2</sup>, 20 кВт/м<sup>2</sup> при нанесении на поверхность облучаемого материала состава толщиной 0,5 сантиметра. Температура указана в граничном с древесиной слое (рис. 3).

В данном случае воспламенение произойдет через 140 - 150 секунд после начала воздействия тепловым излучением плотностью 10 кВт/м<sup>2</sup>.

### Заключение

Таким образом, на значение величины температуры в граничном с древесиной слое значительное воздействие оказывает толщина слоя состава. При нанесении слоя состава на защищаемые конструкции, вы-

полненные из древесины, мы можем предотвратить распространение пожара на близстоящие постройки, что приведет к

минимизации материальных потерь и значительному снижению человеческих жертв.

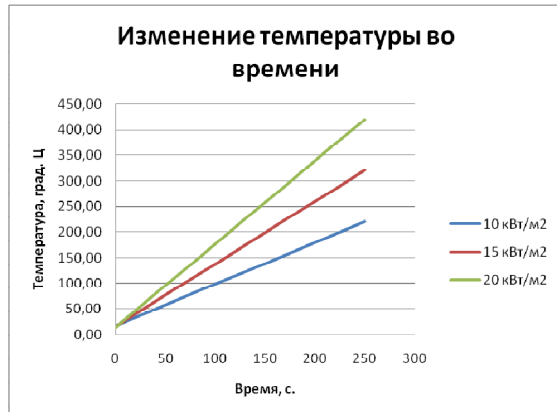


Рис.2 – Изменение температуры во времени при толщине состава 1 см

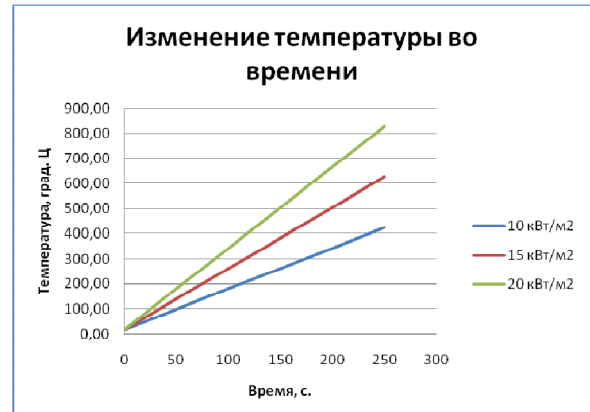


Рис.3 – Изменение температуры во времени при толщине состава 0,5 см

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ТКП 45-2.02-242 «Ограничение распространения пожара. Противопожарная защита населенных пунктов и территорий предприятий. Строительные нормы проектирования».
2. ТКП 45-2.02-142-2011 «Здания, строительные конструкции, материалы и изделия. Правила пожарно-технической классификации».
3. ТКП 45-3.01-117-2008 «Градостроительство. Районы усадебного жилищного строительства. Нормы планировки и застройки».
4. СТБ 11.05.03-2010. Пожарная безопасность технологических процессов. Методы оценки и анализа пожарной опасности. Общие требования. Минск. Госстандарт. 2010.
5. Лыков, А.В. Теория теплопроводности / А.В. Лыков. – М.: Высшая школа, 1967.- 600с.
6. Постольник, Ю.С. Расчет температурных полей твердых тел основной геометрии при произвольных граничных условиях / Ю.С. Постольник, В.И. Тимошпольский, Д.Н. Андрианов // Инженерно-физический журнал. - 2004. - Т.77, №2. – С.3-13.
1. Technical Code of Practice TCP 45-2.02-242 "limiting the spread of fire. Fire-prevention protection of settlements and territories of the enterprises. Design building standards".
2. Technical Code of Practice TCP 45-2.02-142-2011 "Buildings, building constructions, materials and products. Rules of fire and technical classification".
3. Technical Code of Practice TCP 45-3.01-117-2008 "Town planning. Areas of ground housing construction. Norms of planning and building".
4. STB 11.05.03-2010. Fire safety of technological processes. Assessment and analysis methods of fire danger. General requirements. Minsk. Gosstandart. 2010.
5. Lykov, A.V. Theory of thermal conductivity / A.V. Lykov. – M.: Higher School, 1967. - 600 p.
6. Postolnik, Yu.S. Calculation of temperature fields of solids of main geometry under arbitrary boundary conditions / Yu.S. Postolnik, V.I. Timoshpolsky, D.N. AndriaNev // Engineering and physical journal. - 2004. - Vol.77, №. 2. – P. 3-13.

*Статья поступила в редколлегию 04.08.2016.*

*Рецензент: д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой общеобразовательных дисциплин*

*Гомельского филиала Университета гражданской защиты МЧС Беларуси*  
*А.Г. Кравцов*

## Сведения об авторах:

**Копытков Владимир Владимирович**  
канд. техн. наук, доцент, начальник кафедры «Оперативно-тактическая деятельность и техника»

**Kopytkov Vladimir Vladimirovich**  
Can.Eng., Assistant Prof., Head of the Dep. "Operational and Tactical Activity and Equipment" of the Gomel branch of University of Civil Defence of the Ministry of

Гомельского филиала Университета  
гражданской защиты МЧС Беларуси,  
тел. раб. (0232) 460654,  
тел. моб. +375296342343,  
E-mail: [kapytkou@mail.ru](mailto:kapytkou@mail.ru)

**Шныпаркoв Александр Валерьевич**

канд. физ.-мат. наук, доцент,  
старший преподаватель  
кафедры «Оперативно-тактическая  
деятельность и техника»  
Гомельского филиала Университета  
гражданской защиты МЧС Беларуси,  
тел. раб. (0232) 460654,  
тел. моб. +375291824304,  
E-mail: [shnyparkov82@mail.ru](mailto:shnyparkov82@mail.ru)

**Старовойтов Павел Александрович**

преподаватель кафедры  
«Организация деятельности органов  
и подразделений по чрезвычайным ситуациям»  
Гомельского филиала Университета  
гражданской защиты МЧС Беларуси,  
тел. раб. (0232) 460654,  
тел. моб. +375291169627,  
E-mail: [19891229@list.ru](mailto:19891229@list.ru)

Emergency Situations, MChS Belarus

**Shnyparkov Alexander Valeryevich**

Can.Phys.-Math., Assistant Prof., Senior lecturer of the  
Dep. "Operational and Tactical Activity and Equipment"  
of the Gomel branch of University of Civil Defence of the  
Ministry of Emergency Situations, MChS Belarus

**Starovoytov Pavel Aleksandrovich**

a teacher of the Dep. "Organization of Bodies and Divi-  
sions Activity for Emergency Situations" of the Gomel  
branch of University of Civil Defence of the Ministry of  
Emergency Situations, MChS Belarus