

А.А. Волошенко
(Академия ГПС МЧС России; e-mail: volax84@mail.ru)

ЭКСПРЕСС-ОЦЕНКА ТЕПЛОВОГО ПОТОКА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ БЕЗОПАСНЫХ ЗОН РАБОТЫ ПОЖАРНЫХ ПОДРАЗДЕЛЕНИЙ

Проводится оценка безопасных зон работы личного состава пожарных подразделений с учётом влияния теплового потока от пожара.

Ключевые слова: безопасное расстояние, тепловой поток, пожарные подразделения.

A.A. Voloshenko **EXPRESS-EVALUATION OF HEAT FLOW TO DETERMINE THE SAFE WORK ZONES FOR FIRE DEPARTMENTS**

The evaluation of the safe access of the personnel of the fire departments with regard to the influence of the heat flux from a fire was carried out.

Key words: safe distance, heat flow, fire departments.

Статья поступила в редакцию Интернет-журнала 19 июня 2017 г.

В соответствии с требованиями нормативных документов [1-3], регламентирующих деятельность подразделений Федеральной противопожарной службы МЧС России при тушении пожаров и проведении аварийно-спасательных работ, её личный состав должен иметь средства индивидуальной защиты, обеспечивающие необходимый уровень безопасной работы при воздействии опасных факторов пожара [4, 5, 7].

Однако данные требования не учитывают:

- угрозу воздействия падающего лучистого тепла от пожара на людей, участвующих в тушении пожара;
- конкретные безопасные границы доступа личного состава в любое помещение здания или сооружения и безопасную подачу огнетушащих веществ в очаг пожара.

Поэтому существует настоятельная необходимость проведения исследований о наличии угрозы пожарным и оценки требований пожарной безопасности, направленных на обеспечение и организацию безопасной деятельности пожарных подразделений с учётом воздействия теплового потока, регламентированного ст. 9 ФЗ № 123 "Технический регламент о требованиях пожарной безопасности", используя только информацию, полученную визуальным путём, в условиях дефицита времени.

Один из таких апробированных методов, направленный на определение безопасных расстояний, представлен в Приложении 3 ГОСТ 12.1.004-91* "Пожарная безопасность. Общие требования" [3] и в учебнике "Термодинамика и теплопередача в пожарном деле" [8]. Однако данный метод содержит в себе расчётные показатели, которые в оперативном режиме сложно вспомнить.

Для решения проблемы предлагается провести численный эксперимент по учёту влияния теплового потока на людей, участвующих в подаче огнетушащих веществ в очаг пожара, одетых в специальную защитную одежду, с использованием экспресс-формулы, которая будет незначительна по объёму и проста при применении.

Расчётное количество тепла, передаваемое при пожаре, выражается уравнением лучистого теплообмена между телами, разделёнными прозрачной средой, представлено в [3, 8] и описывается формулой:

$$q_{\text{кр}} = \varepsilon_{\text{пр}} \cdot C_0 \cdot \left[\left(\frac{T_{\text{и}}}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_{\text{доп}}}{100} \right)^4 \right] \cdot \varphi_{1-2}, \quad (1)$$

где $T_{\text{и}}$ – температура излучающей поверхности, согласно [3, табл. 6] принята 1273 °K;

$T_{\text{доп}}$ – допустимая температура на облучаемой поверхности, согласно [6, 9], °K;

$\varepsilon_{\text{пр}}$ – приведённая степень черноты системы [8];

C_0 – коэффициент излучения абсолютно чёрного тела, равный 5,7 Вт/(м² K⁴);

φ_{1-2} – коэффициент облучённости между геометрическим центром излучающей поверхности, приведённой к форме прямоугольника, и облучаемой поверхности.

Пожарная опасность пламени обусловлена интенсивностью теплового воздействия (плотностью теплового потока), площадью воздействия, ориентацией (взаимным расположением), температурой пламени, периодичностью и временем его воздействия на вещества и материалы, обладающие различной горючестью.

При оценке воздействия критических значений теплового потока пожара коэффициент облучённости определяется по формуле:

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

где a – высота факела пламени;

b – половина ширины факела пламени.

r – расстояние между излучающей и облучаемой поверхностями.

Приведённая степень черноты системы определялась по уравнению:

$$\varepsilon_{\text{пр}} = \frac{1}{\frac{1}{\varepsilon_{\text{и}}} + \frac{1}{\varepsilon_{\text{обл}}} - 1} = \frac{1}{\frac{1}{0,7} + \frac{1}{0,9} - 1} = 0,649, \quad (3);$$

где $\varepsilon_{\text{и}}$ – степень черноты факела пламени (при горении древесины и изделий из неё принимается равной 0,7);

$\varepsilon_{\text{обл}}$ – степень черноты облучаемой поверхности, равная 0,9.

Для определения безопасного расстояния были учтены параметры и справочные данные, указанные в табл. 1-3. В качестве излучающей поверхности был выбран проём. Значения высоты и ширины проёма составляют от 0,8 до 2,1 м, с шагом 0,1 м. За температуру пламени принималось значение

температуры при горении древесины. В качестве поверхности, на которую воздействовал падающий тепловой поток, была выбрана кожа человека, **боевая одежда пожарного (БОП)** общего назначения и специальная защитная одежда пожарного изолирующего типа, расположенная напротив геометрического центра излучающей поверхности.

Таблица 1

Размеры границ безопасного доступа с учётом воздействия на кожу человека критической интенсивности падающего теплового излучения в течение длительного времени

№ п/п	Размеры площади излучающей поверхности: ширина/высота, м	Температура излучающей поверхности, $T_{из}$, °K	Критическая температура облучаемой поверхности, $T_{донз}$, °K	Критическая интенсивность теплового излучения, $кВт/м^2$ / критическое время облучения, с	Безопасное расстояние, м
1	0,8/0,8	1273	343	1,4 / длит.	5,2547
2	0,8/0,9	1273	343	1,4 / длит.	5,5694
	...				
195	2,1/2,0	1273	343	1,4 / длит.	13,4650
196	2,1/2,1	1273	343	1,4 / длит.	13,7938

Таблица 2

Размеры границ безопасного доступа личного состава, с учётом воздействия на боевую одежду пожарного общего назначения критической интенсивности падающего теплового излучения в течение длительного времени

№ п/п	Размеры площади излучающей поверхности: ширина/высота, м	Температура излучающей поверхности, $T_{из}$, °K	Критическая температура облучаемой поверхности, $T_{донз}$, °K	Критическая интенсивность теплового излучения, $кВт/м^2$ / критическое время облучения, с	Безопасное расстояние, м
1	0,8/0,8	1273	473	4,2 / длит.	2,9534
2	0,8/0,9	1273	473	4,2 / длит.	3,1255
	...				
195	2,1/2,0	1273	473	4,2 / длит.	7,5722
196	2,1/2,1	1273	473	4,2 / длит.	7,7528

Таблица 3

Фрагменты численного определения границы безопасного доступа личного состава, с учётом воздействия на специальную защитную одежду пожарного (изолирующего типа) критической интенсивности падающего теплового излучения

№ п/п	Размеры площади излучающей поверхности: ширина/высота, м	Температура излучающей поверхности, $T_{из}$, °K	Критическая температура облучаемой поверхности, $T_{донз}$, °K	Критическая интенсивность теплового излучения, $кВт/м^2$ / критическое время облучения, с	Безопасное расстояние, м
1	0,8/0,8	1273	473	5,0 / 240	2,6914
2	0,8/0,9	1273	473	5,0 / 240	2,8469
	...				
195	2,1/2,0	1273	473	5,0 / 240	6,9015
196	2,1/2,1	1273	473	5,0 / 240	7,0649

Реализация представленного метода заключается в определении зависимости расстояния от изменений ширины и высоты пламени. Данные значения в дальнейшем будут лежать в выборе линии тренда, которая оптимально описывает отклонения расчётных значений от фактических.

На примере облучаемой кожи человека представлены результаты расчётов и оптимальная зависимость, описывающая полученные расстояния (рис. 1, 2).

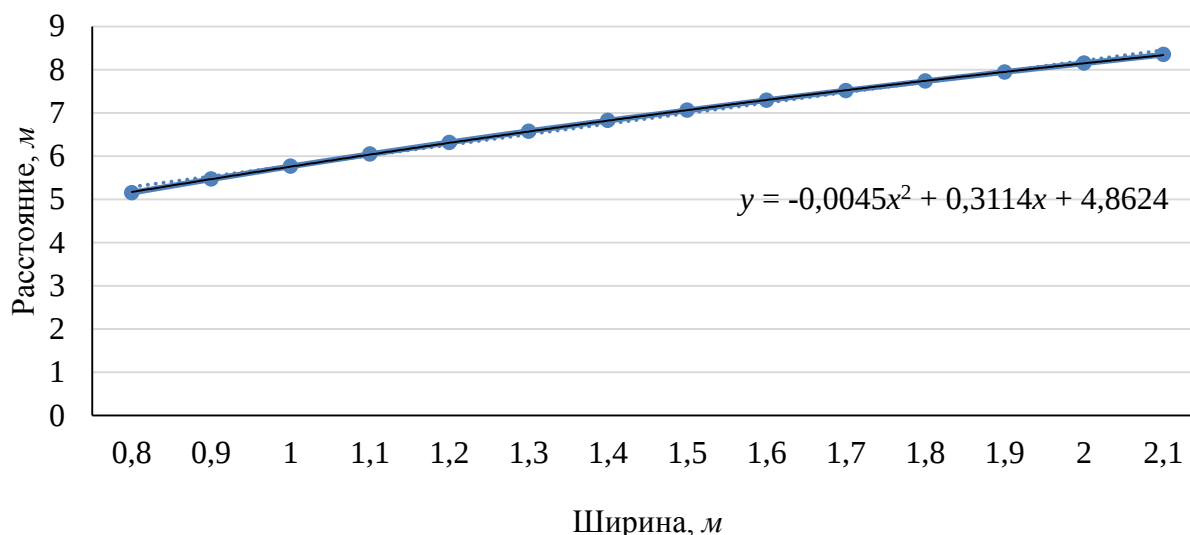


Рис. 1. Графическая диаграмма зависимости ширины излучающей поверхности на безопасное расстояние r до облучаемой кожи человека

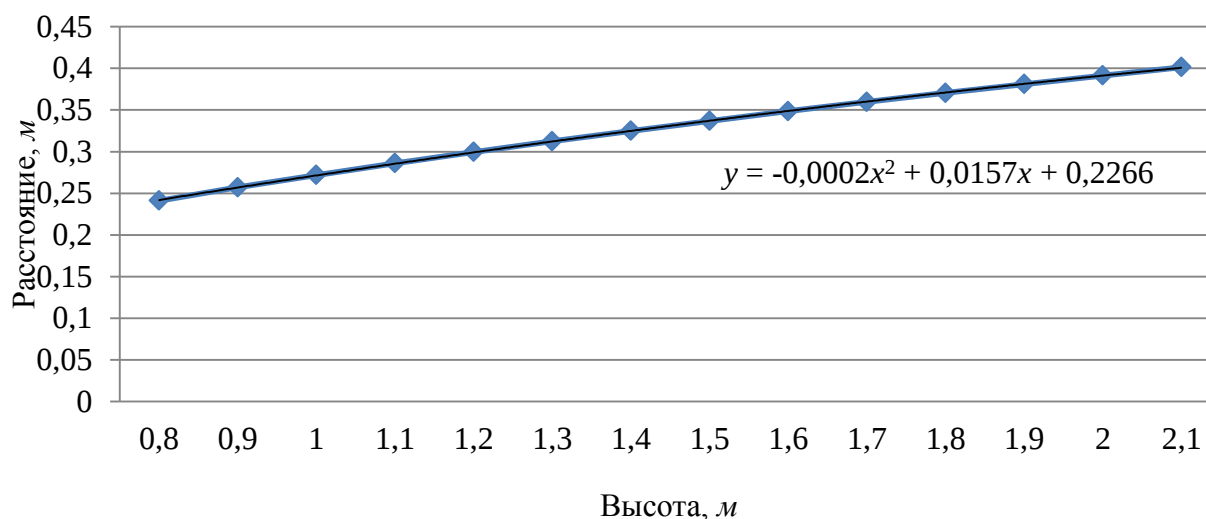


Рис. 2. Графическая диаграмма зависимости высоты излучающей поверхности на безопасное расстояние r до облучаемой кожи человека

Эмпирические экспресс-формулы для определения безопасного расстояния r в зависимости от площади излучающей поверхности (от $0,64 \text{ м}^2$ до $4,41 \text{ м}^2$ – характерная площадь оконного проёма) и облучаемой поверхности в виде:

1) "кожи человека ($1,4 \text{ кВт/м}^2$)" – в течение длительного времени воздействия теплового потока:

$$r = (-0,0002((b - 0,7)/0,1)^2 + 0,0157((b - 0,7)/0,1) + 0,2266) \\ ((a - 0,7)/0,1) + (-0,0045((b - 0,7)/0,1)^2 + 0,3114((b - 0,7)/0,1) + 4,8624);$$

2) "боевой одежды пожарного общего назначения ($4,2 \text{ кВт/м}^2$)" – в течение времени воздействия теплового потока:

$$r = (-0,0001((b - 0,7)/0,1)^2 + 0,0096((b - 0,7)/0,1) + 0,1181) \\ ((a - 0,7)/0,1) + (-0,0027((b - 0,7)/0,1)^2 + 0,1779((b - 0,7)/0,1) + 2,7466);$$

3) "специальной защитной одежды пожарного изолирующего типа ($5,0 \text{ кВт/м}^2$)" – в течение времени воздействия теплового потока – 240 с :

$$r = (-0,0001((b - 0,7)/0,1)^2 + 0,0089((b - 0,7)/0,1) + 0,1052) \\ ((a - 0,7)/0,1) + (-0,0024((b - 0,7)/0,1)^2 + 0,161((b - 0,7)/0,1) + 2,5221);$$

где b, a – размеры излучающей поверхности.

Для оценки точности измерений проведём анализ результатов расчётов количества тепла, передаваемого при пожаре (табл. 4-6) по методу, представленному в [3, 8] и экспресс-формулам, воспользуемся формулой:

$$\varepsilon_x = \frac{\Delta x}{x_{\text{ист}}} = \frac{|x_{\text{ист}} - x_{\text{измер}}|}{x_{\text{ист}}} 100 \%, \quad (4)$$

где ε_x – относительная погрешность;

Δx – абсолютная погрешность

$x_{\text{ист}}$ – истинное значение;

$x_{\text{измер}}$ – измеряемая величина.

Таблица 4

Результаты сравнительного анализа расчётов с учётом воздействия на кожу человека критической интенсивности падающего теплового излучения в течение длительного времени

Характеристики площади факела пламени		Критическая интенсивность теплового излучения, кВт/м^2	Расстояние r по методике / по экспресс-формуле, м	Относительная погрешность, %	Абсолютная погрешность, м
высота проёма (a), м	ширина проёма (b), м				
1,59	1,87	1,4	11,3353 / 11,2976	0,33	0,0377
2,1	2,1	1,4	13,7938 / 14,040	1,78	0,2462

Таблица 5

Результаты сравнительного анализа расчётов с учётом воздействия на боевую одежду пожарного общего назначения критической интенсивности падающего теплового в течение длительного времени

Характеристики площади факела пламени		Критическая интенсивность теплового излучения, кВт/м^2	Расстояние r по методике / по экспресс-формуле, м	Относительная погрешность, %	Абсолютная погрешность, м
высота проёма (a), м	ширина проёма (b), м				
0,8	0,8	4,2	2,9534 / 3,0494	3,25	0,096
2,1	2,1	4,2	7,7528 / 7,9686	2,78	0,2158

**Результаты сравнительного анализа расчётов с учётом воздействия
на специальную защитную одежду пожарного изолирующего типа критической
интенсивности падающего теплового излучения в течение времени падения 240 с**

Характеристики площади факела пламени		Критическая интенсивность теплового излучения, кВт/м^2	Расстояние r по методике / по экспресс-формуле, м	Относительная погрешность, %	Абсолютная погрешность, м
высота проёма (a), м	ширина проёма (b), м				
0,8	0,8	5,0	2,6914 / 2,7947	3,84	0,1033
1,15	1,8	5,0	4,7762 / 4,7734	0,06	0,0028

Результаты сравнительного анализа расчётов показывают высокую точность измерений, что соответствует малым относительным погрешностям, не превышающим 3,84 %. При этом максимальная абсолютная погрешность составляет 0,2462 м (не превышает 25 см).

Оперативная обработка информации путём редукции позволит определять значения безопасной границы доступа личного состава для выполнения задач по тушению пожара и снижению интенсивности его воздействия. Полученные экспресс-формулы просты при проведении тренировок и пожарно-тактических учений (занятий) по ликвидации пожара, используя лишь значения высоты и ширины излучающей поверхности.

Литература

1. Федеральный закон от 23 декабря 2009 г. № 384 "Технический регламент о безопасности зданий и сооружений".
2. Федеральный закон от 22 июля 2008 г. № 123 "Технический регламент о требованиях пожарной безопасности".
3. ГОСТ 12.1.004-91*. ССБТ. Пожарная безопасность. Общие требования.
4. Приказ Министерство труда и социальной защиты РФ от 23 декабря 2014 г. № 1100н "Об утверждении Правил по охране труда в подразделениях Федеральной противопожарной службы Государственной противопожарной службы".
5. Приказ МЧС России от 31 марта 2011 г. № 156 "Об утверждении порядка тушения пожаров подразделениями пожарной охраны".
6. Приказ МЧС России от 30 июня 2009 г. № 382 "Об утверждении методики определения расчётных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и строениях различных классов функциональной пожарной опасности".
7. Методические рекомендации по действиям подразделений федеральной противопожарной службы при тушении пожаров и проведении аварийно-спасательных работ от 26 мая 2010 г. №43-2007-18.
8. Кошмаров Ю.А., Башкирцев М.П. Термодинамика и теплопередача в пожарном деле: учебник. М.: ВПГПШ МВД СССР, 1987. 444 с.
9. ГОСТ Р 53264-2009. Техника пожарная. специальная защитная одежда пожарного. Общие технические требования. Методы испытаний.
10. Козлачков В.И., Ягодка Е.А., Волошенко А.А. Оценка пожарных разрывов с учётом воздействия теплового потока на имущество // Технологии техносферной безопасности. Вып. 3 (67). 2016. С. 40-44. <http://academygps.ru/ttb>.

References

1. Federal'nyj zakon ot 23 dekabrya 2009 g. No 384 "Tehnicheskij reglament o bezopasnosti zdaniy i sooruzhenij" (Technical regulations on the safety of buildings and structures).
2. Federal'nyj zakon ot 22 ijulya 2008 g. No 123 "Tehnicheskij reglament o trebovaniyah pozharnoj bezopasnosti" (Technical regulations about requirements of fire safety).
3. GOST 12.1.004-91*. SSBT. Pozharnaja bezopasnost'. Obshhie trebovaniya (Standards system of labor safety. Fire safety. General requirements).
4. Prikaz Ministerstvo truda i social'noj zashhity RF ot 23 dekabrya 2014 g. No 1100n "Ob utverzhdenii Pravil po ohrane truda v podrazdeleniyah Federal'noj protivopozharnoj sluzhby Gosudarstvennoj protivopozharnoj sluzhby" (About the approval of Rules on labor protection in divisions of Federal protivopozharnoy service of the Public fire service).
5. Prikaz MChS Rossii ot 31 marta 2011 g. No 156 "Ob utverzhdenii porjadka tusheniya pozharov podrazdeleniyami pozharnoj ohrany" (On approval of fire fighting order by fire protection units).
6. Prikaz MChS Rossii ot 30 ijunya 2009 g. No 382 "Ob utverzhdenii metodiki opredeleniya raschjotnyh velichin pozharnogo riska v zdaniyah, sooruzheniyah i stroeniyah razlichnyh klassov funkcional'noj pozharnoj opasnosti" (On approval of the methodology for determining the estimated values of fire risk in buildings, structures and structures of different classes of functional fire danger).
7. Metodicheskie rekomendacii po dejstviyam podrazdelenij federal'noj protivopozharnoj sluzhby pri tushenii pozharov i provedenii avarijno-spasatel'nyh rabot (Methodical recommendations about actions of divisions of Federal anti-fire service at suppression of the fires and carrying out rescue works) ot 26 maja 2010 g. No43-2007-18.
8. Koshmarov Ju.A., Bashkircev M.P. Termodinamika i teploperedacha v pozharom dele (Hermodynamics and heat transfer in fire engineering): uchebnik. M.: VIPTSh MVD SSSR, 1987. 444 p.
9. GOST R 53264-2009. Tehnika pozharnaja. special'naja zashhitnaja odezhda pozharnogo. Obshhie tehnicheckie trebovaniya. Metody ispytaniy (Techniques of fire. Special protective clothing a firefighter. General technical requirements. Test method).
10. Kozlachkov V.I., Jagodka E.A., Voloshenko A.A. Ocenka pozharnyh razryvov s uchjotom vozdejstviya teplovogo potoka na imushhestvo (Assessment of fire breaks taking into account the impact of heat flow on the property) // Tehnologii tehnosfernoj bezopasnosti. Vyp. 3 (67). 2016. Pp. 40-44. <http://academygps.ru/ttb>.