

В.И. Козлачков, И.А. Лобаев, Е.А. Ягодка, А.А. Богатов, А.Ю. Проценко
(Академия ГПС МЧС России; e-mail: nio.gpn@mail.ru)

ЭКСПРЕСС-ОЦЕНКА БЕЗОПАСНЫХ РАССТОЯНИЙ ДО ПОЖАРНОЙ НАГРУЗКИ С УЧЁТОМ РАСЧЁТНОГО ВРЕМЕНИ ЭВАКУАЦИИ ЛЮДЕЙ

Предлагается экспресс-методика оценки пожарных рисков в полевых условиях с использованием электронных средств обработки информации малой мощности.

Ключевые слова: риск-ориентированный подход, эвакуация, экспресс-методики, лучистое тепло, опасные факторы пожара.

V.I. Kozlachkov, I.A. Lobaev E.A. Yagodka, A.A. Bogatov, A.Y. Protsenko **RAPID ASSESSMENT SAFE DISTANCE** **FROM THE FIRE LOAD BASED ON THE EXPECTED** **TEMPORARY EVACUATION OF PEOPLE**

Proposed rapid assessment methodology of fire risks in the field with the use of electronic data processing of low power.

Key words: risk-focused approach, evacuation, express techniques, radiant heat, dangerous factors of a fire.

Статья поступила в редакцию Интернет-журнала 5 мая 2015 г.

В рамках плана реализации "Концепции основных направлений совершенствования деятельности надзорных органов МЧС России" [1] Академии ГПС МЧС России поручено создание инструментария, позволяющего инспектору государственного пожарного надзора в практической деятельности применять требования действующего законодательства к проверяемому объекту (субъекту), выбравшему в качестве пути подтверждения соответствия предъявляемых требований риск-ориентированный подход.

Риск-ориентированный подход предусматривает проведение расчётной оценки пожарных рисков на основании ч. 1 ст. 6 Федерального закона от 22 июля 2008 года № 123-ФЗ "Технический регламент о требованиях пожарной безопасности" с учётом расчётных методик, содержащихся в нормативных документах по пожарной безопасности. По результатам оценки рисков можно определить область области эффективного применения требований пожарной безопасности и таким образом провести разделение существующих требований пожарной безопасности на обязательные (направленные на защиту жизни и здоровья людей и чужого имущества) и добровольного применения (направленные на защиту имущества собственника). Однако, действующие расчётные методики оценки пожарных рисков не могут быть применены в полевых условиях государственными инспекторами по пожарному надзору, так как требуют высокой квалификации специалиста, значительных трудозатрат, а также мощных средств обработки данных (персональные компьютеры).

Решение этой проблемы заключается в разработке экспресс-методик оценки пожарных рисков, являющихся эквивалентами базовых расчётных методов оценки пожарных рисков, содержащихся в ГОСТ 12.1.004-91*, ГОСТ Р 12.3.047-98 и методиках, утвержденных Приказами МЧС России от 30.06.2009 № 382 и от 10.07.2009 № 404.

1. Анализ методов обработки информации, связанной с оценкой пожарных рисков

Исследованиям в области экспресс-оценки пожарных рисков посвящены работы Козлачкова В.И., Лобаева И.А., Хохловой А.Ю., Андреева А.О., Карпенко Д.Г., Пикуша Д.С., Ягодка Е.А. [2-7].

Разработанные вышеперечисленными авторами экспресс-методики позволяют определить необходимое время эвакуации из помещения очага пожара, требуемый предел огнестойкости несущих конструкций, безопасное расстояние от пожарной нагрузки до эвакуационного выхода, требуемую ширину эвакуационных выходов и расчётное время эвакуации людей из помещений со свободной планировкой. Преимущество полученных экспресс-формул для оценки пожарных рисков состоит в том, что для выполнения расчётов не требуется высокой квалификации специалиста, исключается необходимость применения персональных компьютеров большой мощности (достаточно инженерного калькулятора или другого мобильного средства обработки информации малой мощности, например, смартфона), что, в свою очередь, позволяет проводить расчёты в полевых условиях, то есть непосредственно при обследовании объекта защиты во время осуществления проверки по надзору за выполнением требований пожарной безопасности.

Отдельное внимание в рамках проводимого исследования хотелось бы уделить работе [8], посвященной оценке воздействия лучистого теплового потока пожара на людей при их эвакуации и разработке экспресс-формул для определения безопасного расстояния от пожарной нагрузки до эвакуационного выхода.

2. Разработка алгоритма определения безопасного расстояния от пожарной нагрузки с учётом расчётного времени эвакуации людей

Проведённый анализ исследования [8], позволил выявить возможность корректировки, представленного в этой работе алгоритма редукции методики определения интенсивности теплового потока пожара, и разработать алгоритм редукции методики определения интенсивности теплового излучения пожара с учётом расчётного времени эвакуации людей (рис. 2.1).



Рис. 2.1. Алгоритм редукции методики определения интенсивности теплового излучения пожара с учётом расчётного времени эвакуации людей

Для доказательства релевантности скорректированного алгоритма редукции и обоснования возможности применения методики редукции по всему спектру твёрдых горючих материалов были рассмотрены 4 вида пожарной нагрузки:

"здание 1, 2 степени огнестойкости, мебель + бытовые изделия";

"здание 1, 2 степени огнестойкости, мебель + ткани";

"автомобиль: $0,3^*$ (резина, бензин) + $0,15^*$ (ППЧ, кожа ПВХ) + $0,1^*$ (эмаль)";

"упаковка: бумага + картон + поли (этилен + стирол) ($0,4 + 0,3 + 0,15 + 0,15$)".

Для получения сведений о пожароопасных свойствах вышеуказанных видов пожарной нагрузки была использована база данных, представленная в учебнике Ю.А. Кошмарова "Прогнозирование опасных факторов пожара" [9].

В работе Козлачкова В.И. и Ягодка Е.А. предложена методика определения интенсивности теплового потока пожара на людей при горении твёрдых горючих материалов в основе, которой лежит метод расчёта безопасных в пожарном деле расстояний, представленный в учебнике Ю.А. Кошмарова и М.П. Башкирцева "Термодинамика и теплопередача в пожарном деле" [10]. Поэтому для доказательства адекватности скорректированного алгоритма была применена эта же методика. Ниже представлено содержание этой методики.

За основу было принято уравнение лучистого теплообмена между телами, разделёнными непоглощающей средой, $Вт/м^2$:

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

где T_u – температура излучающей поверхности (при горении твёрдых горючих материалов принимаем $1300^\circ K$);

$T_{дон}$ – допустимая температура на облучаемой поверхности (допустимая температура на поверхности кожи человека может быть равной $313^\circ K$);

$\varepsilon_{пр}$ – приведённая степень черноты системы;

C_0 – коэффициент излучения абсолютно чёрного тела, равный $5,7 Вт/(м^2 K^4)$;

φ_{1-2} – коэффициент облучённости между облучающей и облучаемой поверхностями.

Приведённая степень черноты системы приближённо определялась по уравнению:

$$\varepsilon_{пр} = \frac{1}{\frac{1}{\varepsilon_u} + \frac{1}{\varepsilon_{обл}} - 1} = \frac{1}{\frac{1}{0,7} + \frac{1}{0,9} - 1} = 0,649, \quad (2)$$

где ε_u – степень черноты факела пламени (при горении пластмасс, древесины и изделий из неё принимается равной $0,7$);

$\varepsilon_{обл}$ – степень черноты – $0,9$.

Наступление критических значений теплового потока наиболее вероятно в точке dF_1 , лежащей против геометрического центра излучающей поверхности F_2 , приведённой к форме прямоугольника (рис. 2.2).

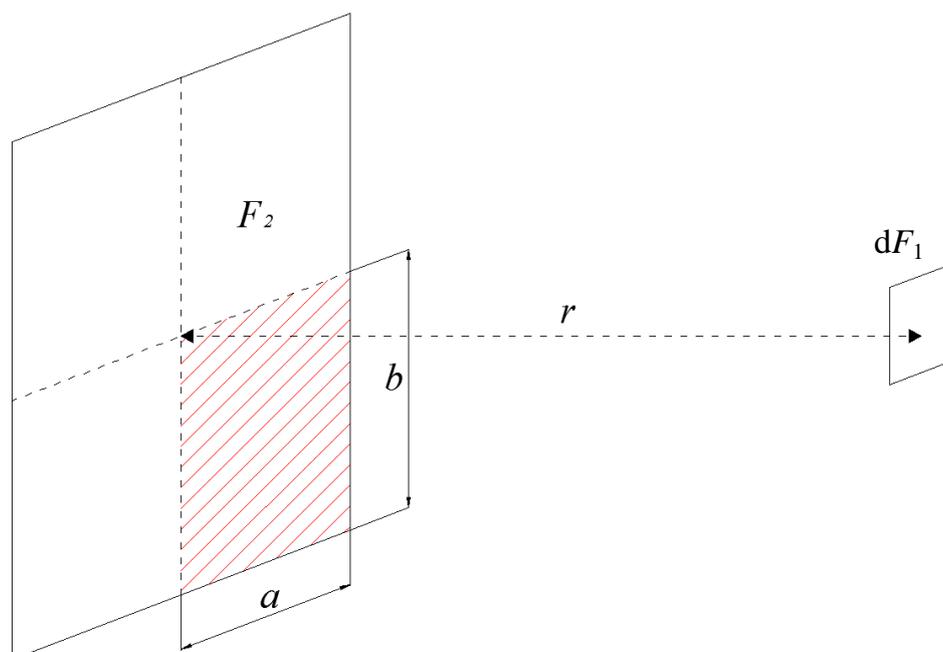


Рис. 2.2. Схема лучистого теплообмена между плоскопараллельными элементами поверхности и площадкой конечных размеров

При оценке воздействия критических значений теплового потока пожара на человека, коэффициент облучённости определялся по формуле:

$$\varphi_{21} = \frac{1}{2\pi} \cdot \left(\frac{a}{\sqrt{a^2+r^2}} \cdot \arctg \frac{b}{\sqrt{a^2+r^2}} + \frac{b}{\sqrt{b^2+r^2}} \cdot \arctg \frac{a}{\sqrt{b^2+r^2}} \right), \quad (3)$$

где a – отношение меньшей стороны одной четвертой части площади излучающей поверхности к расстоянию между $F2$ и $dF1$ (r) (при определении воздействия критических значений теплового потока – значение " a " принимается равным половине ширины факела);

b – отношение большей стороны одной четвертой части излучающей поверхности к тому же расстоянию r (при определении воздействия критических значений теплового потока – значение b принимается равным половине высоты факела);

r – расстояние между облучающей и облучаемой поверхностью.

Таким образом, коэффициент облучённости, определяемый по номограмме, будет равен:

$$\varphi_{1-2} = 4 \cdot \varphi_{21}, \quad (4)$$

Ширина факела (A) определялась по формуле, m :

$$A = 0,5 \cdot V_{\text{лин}} \cdot \tau \quad (5)$$

где L – расстояние пройденное фронтом пламени за необходимое время эвакуации людей из помещения, m .

Высота факела (пламенной зоны) $Z_{\text{пл}}$, m , определяется по формуле:

$$z_{\text{пл}} = 0,166 \cdot \left(\frac{Q_{\text{пож}} \cdot (1-X_1)}{1000} \right)^{2/5}, \quad (6)$$

где $Q_{\text{пож}}$ – скорость тепловыделения, Bt ;

X_1 – коэффициент теплопотерь в конвективной колонке (при отсутствии справочных данных допускается принимать равным 0,3).

Скорость тепловыделения $Q_{\text{пож}}$, Bt , определяется по формуле:

$$Q_{\text{пож}} = \eta \cdot \Psi_{\text{уд}} \cdot Q_{\text{н}}^{\text{p}} \cdot F_{\text{г}}, \quad (7)$$

где η – полнота сгорания (при отсутствии справочных данных допускается принимать равным 0,9);

$\Psi_{\text{уд}}$ – удельная скорость выгорания, $кг/(м^2 \cdot с)$;

$Q_{\text{н}}^{\text{p}}$ – низшая рабочая теплота сгорания горючего материала, $Дж/кг$;

$F_{\text{г}}$ – площадь открытой поверхности горючего материала, $м^2$.

2.1. Организация и результаты численного эксперимента по доказательству релевантности алгоритма редукции методики определения интенсивности теплового излучения пожара с учётом расчётного времени эвакуации людей

Для проведения численного эксперимента в качестве исходных данных было принято расчётное время эвакуации в пределах от 1 до 120 секунд с шагом 1 секунда. Расчёты проводились для 4 видов пожарной нагрузки приведенных выше.

В первой серии расчётов определялось расстояние пройденное фронтом пламени (m) за расчётное время эвакуации людей. Результаты расчётов фрагментарно представлены в табл. 2.1.

Таблица 2.1

Результаты расчётов расстояния, пройденного фронтом пламени за расчётное время эвакуации людей при горении пожарной нагрузки "мебель + бытовые изделия"

Расчётное время эвакуации, с	Вид пожарной нагрузки	Линейная скорость распространения пламени, м/мин	Расстояние, пройденное фронтом пламени, м
1	Здание 1, 2 СО мебель + бытовые изделия	2,79	0,005
2	Здание 1, 2 СО мебель + бытовые изделия	2,79	0,011
3	Здание 1, 2 СО мебель + бытовые изделия	2,79	0,016
4	Здание 1, 2 СО мебель + бытовые изделия	2,79	0,022
.....			
117	Здание 1, 2 СО мебель + бытовые изделия	2,79	0,632
118	Здание 1, 2 СО мебель + бытовые изделия	2,79	0,637
119	Здание 1, 2 СО мебель + бытовые изделия	2,79	0,643
120	Здание 1, 2 СО мебель + бытовые изделия	2,79	0,648

В следующей серии расчётов исходя из параметров очага пожара, зависящих от расстояния, пройденного фронтом пламени за расчётное время эвакуации людей, определялись критическая плотность теплового потока (с учётом коэффициента безопасности, $Вт/м^2$) и минимальное (безопасное) расстояние (m) до пожарной нагрузки.

Результаты этих расчётов фрагментарно представлены в табл. 2.2.

**Результаты расчётов расстояния между факелом пламени
и облучаемой поверхности при горении пожарной нагрузки
"здание 1, 2 степени огнестойкости мебель + бытовые изделия"**

Расчётное время эвакуации, с	Вид пожарной нагрузки	Расстояние, пройденное фронтом пламени, м	Величина теплового потока с учётом коэффициента безопасности, Вт/м ²	Минимальное расстояние, м
1	Здание 1, 2 СО мебель + бытовые изделия	0,0054	1399,99	0,092
2	Здание 1, 2 СО мебель + бытовые изделия	0,0108	1399,99	0,172
3	Здание 1, 2 СО мебель + бытовые изделия	0,0162	1399,99	0,248
4	Здание 1, 2 СО мебель + бытовые изделия	0,0216	1399,99	0,321
.....				
117	Здание 1, 2 СО мебель + бытовые изделия	0,6318	1399,99	6,715
118	Здание 1, 2 СО мебель + бытовые изделия	0,6372	1399,99	6,766
119	Здание 1, 2 СО мебель + бытовые изделия	0,6426	1399,99	6,818
120	Здание 1, 2 СО мебель + бытовые изделия	0,648	1399,99	6,870

По результатам расчётов было определено минимальное (безопасное) расстояние до пожарной нагрузки, что, в свою очередь, позволяет определить наличие угрозы для жизни и здоровью людей при их эвакуации из помещений с одним эвакуационным выходом в результате блокирования этого выхода критическими значениями теплового потока пожара.

2.2. Разработка экспресс-методик определения безопасного расстояния от пожарной нагрузки с учётом расчётного времени эвакуации людей

Математическая обработка результатов расчётов по определению минимального расстояния до пожарной нагрузки, позволила выявить зависимость этого показателя от вида пожарной нагрузки и расчётного времени эвакуации людей, и выразить эту зависимость упрощёнными расчётными формулами.

Результаты математической обработки результатов расчётов по определению минимального расстояния до пожарной нагрузки представлены на рис. 2.3.

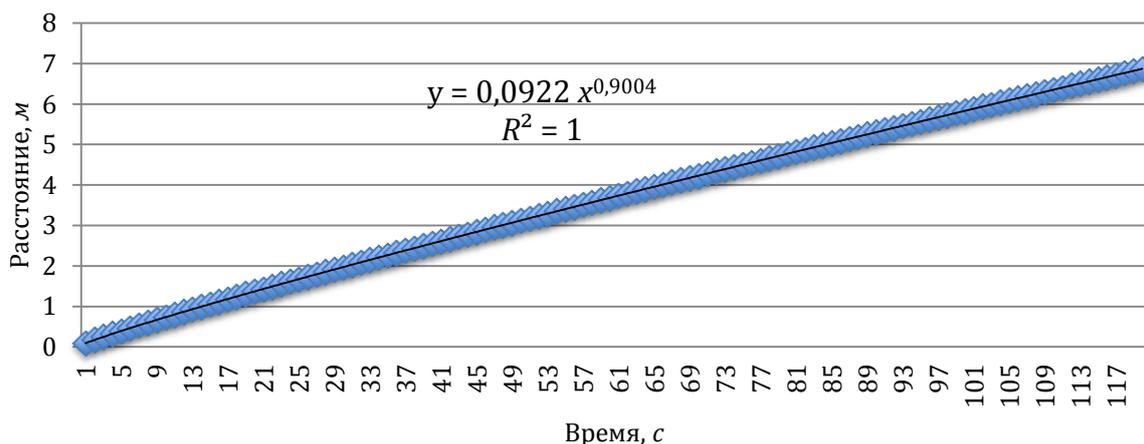


Рис. 2.3. Зависимость минимального расстояния до пожарной нагрузки от расчётного времени эвакуации людей из помещений с пожарной нагрузкой "здания 1, 2 степени огнестойкости мебель + бытовые изделия"

Полученные результаты позволяют выразить их экспресс-методиками, которые отвечают условиям их применения в оперативном режиме, при проведении обследований объектов защиты должностными лицами органов государственного пожарного надзора.

Экспресс-методики, позволяющие, зная расчётное время эвакуации людей, в оперативном режиме определить безопасное расстояние от пожарной нагрузки до эвакуационного выхода:

- "здание 1, 2 СО мебель + бытовые изделия":

$$r = 0,0922 \tau_p^{0,9004}; \quad (8)$$

- "здание 1, 2 СО мебель + ткани":

$$r = 0,04 \tau_p + 0,165; \quad (9)$$

- "автомобиль: 0,3* (резина, бензин) + 0,15* (ППУ, кожа ПВХ) + 0,1* (эмаль)":

$$r = 0,0786 \tau_p^{0,9013}; \quad (10)$$

- "бумага + картон + (полиэтилен + стирол) (0,4 + 0,3 + 0,15 + 0,15)":

$$r = 0,0213 \tau_p, \quad (11)$$

где τ_p – расчётное время эвакуации, с.

Адекватность экспресс-методик базовой версии методики определения интенсивности теплового потока пожара с учётом расчётного времени эвакуации людей подтверждается сравнением результатов расчётов, проведённых с помощью экспресс-методик и по базовой версии методики. Результаты расчётов и определения погрешностей представлены в табл. 2.3.

**Результаты сравнения результатов расчётов,
проведённых по базовой методике и с помощью экспресс-методик**

Характеристики		Расстояние по базовой версии методики, м	Расстояние по экспресс-методикам, м	Относительная погрешность, %
Вид нагрузки	Время, с			
Здание 1, 2 СО мебель + бытовые изделия	33	2,149	2,148	0,000331
Здание 1, 2 СО мебель + ткани	87	3,657	3,643	0,0010
Автомобиль: 0,3* (резина, бензин) + 0,15* (ППУ, кожа ПВХ + 0,1* (эмаль)	88	4,443	4,446	0,000602
(бумага + картон + полиэтилен + стирол) (0,4 + 0,3 + 0,15 + 0,15)	65	1,385	1,384	0,000216

Как показывает сравнительный анализ, самая большая погрешность не превышает 0,0010 %, что подтверждает высокую адекватность разработанных экспресс-методик.

Вывод

В результате проведённого исследования, был разработан алгоритм редукции методики определения интенсивности теплового излучения пламени, учитывающий расчётное время эвакуации людей, выявлены зависимости безопасного расстояния до пожарной нагрузки от расчётного времени эвакуации и получены экспресс-формулы определения безопасного расстояния с учётом расчётного времени эвакуации людей.

Результаты исследования позволяют государственным инспекторам по пожарному надзору, при осуществлении обследований объектов защиты, обоснованно принимать решения о наличии нарушений обязательных требований пожарной безопасности, создающих угрозу для жизни и здоровья людей, и применять меры административного воздействия к собственникам объектов защиты.

Разработанные экспресс-методики дополняют уже существующий комплекс экспресс-методик оценки пожарных рисков, являющихся инструментариями, позволяющими государственному инспектору по пожарному надзору в практической деятельности при осуществлении надзорных функций применять риск-ориентированный подход.

Литература

1. **Концепция** основных направлений совершенствования деятельности надзорных органов МЧС России, утвержденная на коллегии МЧС России 18 февраля 2015 г.
2. **Козлачков В.И., Хохлова А.Ю.** Экспресс-оценка пожарных рисков при обследовании зданий и сооружений // Деп. в ВИНТИ РАН №2323-B2001 от 08.11.01. 200 с.
3. **Козлачков В.И., Андреев А.О.** Экспресс-оценка угрозы людям при использовании первичных средств пожаротушения // Деп. в ВИНТИ РАН № 2532-B2001 от 06.12.01. 257 с.
4. **Козлачков В.И., Лобаев И.А.** Экспресс-оценка пожарных рисков при изменении функционального назначения зданий // Деп. в ВИНТИ РАН № 2325-B2001 от 08.11.01. 207 с.
5. **Козлачков В.И., Лобаев И.А., Алистанов С.С.** Экспресс-оценка пожарных рисков для конструкций зданий // Матер. 19-й междуна. науч.-техн. конф. "Системы безопасности – 2010". М.: Академия ГПС МЧС России, 2010. С. 188-189.
6. **Козлачков В.И., Карпенко Д.Г.** Организация проверок противопожарного состояния объектов при осуществлении государственного пожарного надзора. ВИНТИ РАН. Деп. №44-B2008 от 22.01.08.
7. **Козлачков В.И., Пикуш Д.С.** Оценка соответствия объектов защиты со свободной планировкой требованиям пожарной безопасности // Матер. 19-й междунар. науч.-техн. конф. "Системы безопасности – 2010". М.: Академия ГПС МЧС России, 2010. С. 182-185.
8. **Козлачков В.И., Ягодка Е.А.** Оперативная обработка информации при оценке угрозы причинения вреда лучистым теплом // Деп. в ВИНТИ РАН № 370-B2013 от 16.12.2013. 228 с.
9. **Кошмаров Ю.А.** Прогнозирование опасных факторов пожара в помещении: учебное пособие. М: Академия ГПС МВД России, 2000. 118 с.
10. **Кошмаров Ю.А., Башкирцев М.П.** Термодинамика и теплопередача в пожарном деле. М.: ВИПТШ МВД СССР, 1987.