

DOI: <https://doi.org/10.33408/2519-237X.2019.3-4.412>

УДК 536.46+614.841.123.24

МЕТОДИКА РАСЧЕТА ВИДИМОСТИ ПРИ ПОЖАРЕ

Суриков А.В., Лешенюк Н.С.

Цель. Разработать методику расчета видимости при пожаре, основанную на математической модели распространения оптического излучения через рассеивающую среду и дополненную учетом цветовой гаммы интерьера помещений, доли сгоревшего материала и количественными характеристиками пожарной нагрузки.

Методы. Моделирование динамики задымления помещения в условиях пожара.

Результаты. Разработана методика расчета видимости пожара, основанная на математической модели распространения оптического излучения в рассеивающей среде и дополненная учетом цвета внутренней части помещений, комплексной оценкой дымообразующей способности пожарной нагрузки и долей ее сгорания. Описана методика определения значений и применения параметров для моделирования видимости при пожаре.

Область применения исследований. Результаты исследования могут быть применены при моделировании пожаров.

Ключевые слова: моделирование, видимость, дымообразующая способность, удельный выход дыма, фактор видимости, удельный показатель экстинкции, освещенность, коэффициент отражения.

(Поступила в редакцию 14 октября 2019 г.)

Введение. Своевременная эвакуация людей при пожаре зависит от динамики его развития и скорости проведения аварийно-спасательных работ по их поиску и спасению. Следует учитывать, что в зоне пожара аварийно-спасательные работы выполняются при воздействии опасных факторов пожара (ОФП), что влияет на скорость их проведения. Критерием успешной эвакуации является выход в безопасную зону до наступления критических значений ОФП¹. Критическая продолжительность пожара по потере видимости, зависящей от оптической плотности дыма, как правило, достигается быстрее критических значений других ОФП².

В настоящее время существует ряд моделей, позволяющих оценить динамику задымления в помещении при пожаре [1–3]. Наиболее востребованными являются интегральная и полевая модель развития пожара. Основные методы решения задачи оценки видимости в помещении, применяемые при проектировании объектов, приведены в утвержденной методике³ и ГОСТ 12.1.004-91. Вместе с тем в практике моделирования распространения оптического излучения в условиях пожара и, следовательно, изменения видимости в указанных нормативных документах в настоящее время не учитывается влияние ряда параметров – цветовой гаммы интерьера помещений, доли сгоревшего материала при определении коэффициента дымообразования и аддитивных свойств пожарной нагрузки (т. е. ее количественных характеристик). При применении полевой модели развития пожара в качестве параметров моделирования дымообразования применяется удельный выход дыма Y_s и массовый коэффициент экстинкции σ_s .

¹ Система стандартов безопасности труда. Пожарная безопасность. Общие требования: ГОСТ 12.1.004-91. – Введ. 01.07.1992. – М.: Комитет стандартизации и метрологии СССР: М-во внутренних дел СССР, М-во химической промышленности СССР, 1996. – 83 с.

² См. сн. 1.

³ Об утверждении методики определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и строениях различных классов функциональной пожарной опасности [Электронный ресурс]: приказ МЧС России, 30 июня 2009 г., № 382: в ред. приказ. МЧС России, 2 дек. 2015 г., №632 // МЧС России. – Режим доступа: <https://www.mchs.gov.ru/dokumenty/normativnye-pravovye-akty-mchs-rossii/668>. – Дата доступа: 22.02.2019.

В настоящей работе представлена методика расчета видимости в помещении при пожаре, основанная на модели распространения оптического излучения через рассеивающую среду, которая принимает во внимание все указанные выше параметры.

Основные соотношения физических величин, характеризующих видимость в помещении в условиях пожара. Численным критерием видимости в условиях пожара служит отношение яркости объекта к яркостному порогу зрения человека $B_{кр}$ [1].

Яркостный порог зрения человека $B_{кр}$ в условиях задымления зависит от предельной видимости $l_{пр}$ и начальной освещенности поверхности E_0 :

$$B_{кр} = \frac{\alpha E_0}{\pi} e^{-kl_{пр}}, \quad (1)$$

где $B_{кр}$ – яркостный порог зрения человека в условиях задымления, кд/м² (принимается равным 0,302 кд/м²); α – коэффициент отражения поверхности (далее – коэффициент отражения); E_0 – начальная освещенность поверхностей, лк; k – коэффициент ослабления оптического излучения (далее – коэффициент ослабления), м⁻¹; $l_{пр}$ – предельная видимость в дыму, м [1].

Предельная видимость в дыму в зависимости от времени горения пожарной нагрузки $l_{пр}(\tau)$ определяется по формуле:

$$l_{пр}(\tau) = \frac{1}{k(\tau)} \ln \left(\frac{\alpha E_0}{\pi B_{кр}} \right) = \frac{C}{k(\tau)}, \quad (2)$$

где $C = \ln(\alpha E_0 / \pi B_{кр})$ – фактор видимости (безразмерная характеристика типа объекта наблюдения).

Фактор видимости C зависит от коэффициента отражения α , который определяется исходя из материала отражающей поверхности, ее окраски и условий эксплуатации помещения. В частности, накопление темной пыли на поверхности строительных конструкций значительно снижает значение C . Начальная освещенность объекта наблюдения E_0 зависит от назначения помещения и пространственного распределения света на вертикальной поверхности. В работе [4] приведен расчет фактора видимости C и показано, что его значение при определенных начальных условиях может как превышать, так и быть значительно меньше стандартного значения⁴, равного 2,38.

Одним из определяющих параметров, влияющих на коэффициент ослабления k , является дымообразующая способность пожарной нагрузки D . Данный параметр, как правило, принимается равным коэффициенту дымообразования D_m [1], рассчитываемому по результатам проведения стандартных испытаний⁵. Недостатком данного подхода является отсутствие учета при определении D_m доли сгоревшего материала при проведении испытаний⁶, что в свою очередь вносит определенную погрешность при расчете динамики задымления.

Пожарная нагрузка большинства помещений состоит из различных горючих материалов, каждому из которых соответствует определенное значение D_m . Известно, что пожарная нагрузка обладает аддитивными свойствами [1, 5], поэтому определение ее дымообразующей способности требует учитывать долю составляющих ее материалов.

Таким образом, при расчете видимости в условиях задымления необходимо учитывать цвет интерьера помещений, комплексную оценку дымообразующей способности пожарной нагрузки, определяемой ее количественным составом, и долю сгорания материалов при определении коэффициента дымообразования.

⁴ См. сн. 1.

⁵ Пожаровзрывобезопасность веществ и материалов. Номенклатура показателей и методы их определения: ГОСТ 12.1.044-89. – Взамен ГОСТ 12.1.044-84; введ. 17.12.92. – М.: Изд-во стандартов, 1989. – С. 74–76.

⁶ Там же.

Порядок расчета видимости в условиях пожара по интегральной модели. Для расчета видимости в условиях пожара необходимо определить:

- дымообразующую способность пожарной нагрузки D ;
- начальную освещенность E_0 ;
- коэффициент отражения α .

Дымообразующая способность материалов, составляющих пожарную нагрузку, определяется одним из следующих способов:

- принимается равной коэффициенту дымообразования D_m , рассчитанному по результатам испытания материала в режиме пламенного горения;
- из справочных данных (технических нормативных правовых актов, справочных изданий⁷ и др.).

В случае, когда пожарная нагрузка состоит из n различных материалов, необходимо определить их массовую долю M_i .

При расчете коэффициента дымообразования материалов по результатам испытаний⁸ необходимо учитывать значение коэффициента $A_{дсм}$ – доли сгоревшей массы материалов:

$$D_m = \frac{V}{A_{дсм} mL} \ln \left(\frac{I_0}{I} \right), \quad (3)$$

где D_m – коэффициент дымообразования, м²/кг; V – объем испытательной камеры, м³; m – начальная масса образца, кг; L – длина пути оптического луча, м; I_0 – интенсивность падающего света; I – интенсивность прошедшего света.

При отсутствии экспериментальных данных по коэффициенту $A_{дсм}$ допускается принимать его равным 0,8 для материалов на основе древесины и 0,75 для изделий из синтетических полимеров [4].

В случае, если пожарная нагрузка состоит из n различных горючих материалов, дымообразующая способность рассчитывается по формуле:

$$D = \sum_{i=1}^n M_i D_{m,i}, \quad (4)$$

где M_i – массовая доля i -того материала от общей массы горючих материалов; $D_{m,i}$ – коэффициент дымообразования i -того материала, м²/кг.

Начальная освещенность поверхностей E_0 определяется согласно техническим нормативным правовым актам, а в случаях отсутствия значений для рассматриваемого помещения допускается принимать ее равной 50 лк или определять путем измерения [1].

Коэффициент отражения α представляет собой отношение светового потока, отраженного от поверхности, к падающему на нее световому потоку. Данный параметр определяется в зависимости от цветовой отделки интерьера. Значения коэффициента отражения α определяется в зависимости от цветовой гаммы отделки помещения и ее материалов⁹.

Зависимость коэффициента ослабления $k(\tau)$ от времени горения определяется по формуле:

$$k(\tau) = \frac{BDz}{V_{св}} \left(1 - \exp \left(-\frac{A}{B} \tau^n \right) \right), \quad (5)$$

⁷ Пожарная нагрузка. Справочник. Документ / Редакция 2 / 15.05.2014 / СИТИС-СПН-1 [Электронный ресурс] / Техническая информация – Инженерный справочник DPVA.ru. – Режим доступа: <http://forum.sitis.ru/viewtopic.php?f=18&t=1044>. – Дата доступа 22.09.2019.

⁸ См. сн. 5.

⁹ Строительные нормы. Указания по проектированию цветовой отделки интерьеров производственных зданий промышленных предприятий: СН 181-70. – Введ. 01.10.1970. – М.: Стройиздат, 1972. – 76 с.

где B – параметр, зависящий от теплоты сгорания горючего материала и свободного объема помещения, кг; A – параметр, учитывающий удельную массовую скорость выгорания горючего материала и площадь пожара, кг·с⁻¹; $V_{св}$ – свободный объем помещения, м³; z – безразмерный параметр, учитывающий неравномерность распределения ОФП по высоте; n – показатель степени, который зависит от характера распространения пламени (при круговом распространении принимается равным 3, при распространении горения в виде прямоугольника, одна из сторон которого увеличивается в двух направлениях за счет распространения пламени, – 2).

Параметры A , B и z определяются по стандартной методике¹⁰.

Предельная видимость в заданный момент времени определяется по формуле (2).

Расчет видимости в полевой модели развития пожара проводится с применением программных комплексов, одним из которых является Fire Dynamics Simulator (FDS).

Для расчета времени достижения предельной заданной видимости в FDS необходимо определить:

- удельный массовый показатель (коэффициент) экстинкции σ_s ;
- удельный выход дыма для заданной химической реакции Y_s ;
- начальную освещенность E_0 и коэффициент отражения α ;
- фактор видимости C ;
- коэффициент ослабления k , соответствующий заданной предельной видимости $l_{пр}$.

Удельный массовый показатель экстинкции σ_s , м²/кг, представляет собой коэффициент пропорциональности между коэффициентом ослабления и массовой концентрацией дыма. Показатель σ_s зависит от длины волны падающего излучения и от дисперсности дыма, которая определяется типом горящего материала (вещества). В работе [6] приведена оценка значений σ_s при проведении моделирования экспериментальных исследований видимости при пожаре. Установлено, что значения σ_s , приведенные в работе [7], влияют на результаты моделирования изменения видимости и имеют лучшую сходимость с экспериментальными данными. Вместе с тем при отсутствии для материалов и веществ значения σ_s в работе [7] его допускается принимать равным 8700 м²/кг.

Моделирование задымления в помещениях с применением полевой модели развития пожара предусматривает применение в качестве параметра, характеризующего дымообразующую способность материалов, удельный выход дыма Y_s . Значение Y_s определяется по табличным данным [8] или расчетным методом.

При отсутствии для материалов и веществ значения значения Y_s в работе [8], оно может быть определено по формуле (6) с учетом значения параметра, характеризующего дымообразующую способность пожарной нагрузки и применяемого при моделировании пожаров в Республике Беларусь, – коэффициента дымообразования D_m :

$$Y_s = \frac{D_m}{A_{дсм} \sigma_s}. \quad (6)$$

В приведенном соотношении (6) коэффициент $A_{дсм}$, учитывающий долю сгоревшей массы образца, применяется в случае использования для расчета Y_s значений коэффициента дымообразования D_m , определенных согласно справочным данным. В случае применения значения D_m по результатам испытаний коэффициент $A_{дсм}$ необходимо учитывать согласно формуле (3), а в формуле (6) принимать равным 1.

Начальная освещенность E_0 и коэффициент отражения α определяются по аналогии с интегральной моделью. При этом необходимо учитывать кривые силы света применяемых приборов освещения и распределение освещенности на вертикальной поверхности на высоте наблюдения.

¹⁰ См. сн. 1.

Значения фактора видимости C для различных поверхностей (материалов и поверхностей, окрашенных наиболее распространенными красками при различном весовом содержании чистого пигмента в красочном составе – насыщенности краски M) в зависимости от коэффициента отражения объектов α и начальной освещенности в помещении E_0 приведены в работе [4], а также могут быть определены из выражения (2).

Коэффициент ослабления k , соответствующий заданной предельной видимости l_{np} и определенному (рассчитанному) фактору видимости C , приведен в таблице или может быть определен из выражения (2).

При интерпретации выходных данных расчета предельной видимости в условиях пожара с использованием полевой модели необходимо учитывать значение коэффициента ослабления k по всей протяженности зоны видимости [4].

Таблица. – Значения коэффициента ослабления оптического излучения k

| Фактор видимости C | Значение коэффициента ослабления оптического излучения k [м^{-1}] при предельной видимости l_{np} [м] | | | | | | |
|----------------------|---|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 5 | 8 | 10 | 12 | 15 | 18 | 20 |
| 2 | 0,400 | 0,250 | 0,200 | 0,167 | 0,133 | 0,111 | 0,100 |
| 2,1 | 0,420 | 0,263 | 0,210 | 0,175 | 0,140 | 0,117 | 0,105 |
| 2,2 | 0,440 | 0,275 | 0,220 | 0,183 | 0,147 | 0,122 | 0,110 |
| 2,3 | 0,460 | 0,288 | 0,230 | 0,192 | 0,153 | 0,128 | 0,115 |
| 2,4 | 0,480 | 0,300 | 0,240 | 0,200 | 0,160 | 0,133 | 0,120 |
| 2,5 | 0,500 | 0,313 | 0,250 | 0,208 | 0,167 | 0,139 | 0,125 |
| 2,6 | 0,520 | 0,325 | 0,260 | 0,217 | 0,173 | 0,144 | 0,130 |
| 2,7 | 0,540 | 0,338 | 0,270 | 0,225 | 0,180 | 0,150 | 0,135 |
| 2,8 | 0,560 | 0,350 | 0,280 | 0,233 | 0,187 | 0,156 | 0,140 |
| 2,9 | 0,580 | 0,363 | 0,290 | 0,242 | 0,193 | 0,161 | 0,145 |
| 3,0 | 0,600 | 0,375 | 0,300 | 0,250 | 0,200 | 0,167 | 0,150 |
| 3,1 | 0,620 | 0,388 | 0,310 | 0,258 | 0,207 | 0,172 | 0,155 |
| 3,2 | 0,640 | 0,400 | 0,320 | 0,267 | 0,213 | 0,178 | 0,160 |
| 3,3 | 0,660 | 0,413 | 0,330 | 0,275 | 0,220 | 0,183 | 0,165 |
| 3,4 | 0,680 | 0,425 | 0,340 | 0,283 | 0,227 | 0,189 | 0,170 |
| 3,5 | 0,700 | 0,438 | 0,350 | 0,292 | 0,233 | 0,194 | 0,175 |
| 3,6 | 0,720 | 0,450 | 0,360 | 0,300 | 0,240 | 0,200 | 0,180 |
| 3,7 | 0,740 | 0,463 | 0,370 | 0,308 | 0,247 | 0,206 | 0,185 |
| 3,8 | 0,760 | 0,475 | 0,380 | 0,317 | 0,253 | 0,211 | 0,190 |
| 3,9 | 0,780 | 0,488 | 0,390 | 0,325 | 0,260 | 0,217 | 0,195 |
| 4,0 | 0,800 | 0,500 | 0,400 | 0,333 | 0,267 | 0,222 | 0,200 |

Время достижения критического значения видимости определяется в момент достижения коэффициентом ослабления значения, определенного для соответствующей предельной видимости l_{np} и фактора видимости C .

Расчет предельной видимости в полевой модели проводится с учетом следующих выходных данных:

- расчетное значение ослабления оптического излучения (если предусмотрено в программном комплексе);

- изменение поля распределения видимости в помещении в зависимости от времени;

- показатели виртуальных датчиков контроля газовой среды.

Большую информативность и однозначность интерпретации полученных расчетных данных при анализе полей распределения видимости в помещении имеют плоскости, размещенные горизонтально на высоте, соответствующей высоте наблюдения. В случае наличия нескольких временных интервалов, в течение которых происходит уменьшение видимости ниже предельно допустимого, за время потери видимости принимается более позднее [6]. Возникновение кратковременных минимумов предельной видимости, соответствующих локальному уменьшению видимости в месте размещения виртуальных датчиков,

связано с физической моделью распространения продуктов сгорания при пожаре и не оказывает существенного влияния на определение критических значений данного параметра.

Заключение. Видимость при пожаре зависит не только от дымообразующей способности пожарной нагрузки, но и от массового коэффициента экстинкции, цветовой гаммы интерьера помещения и его начальной освещенности, а также доли сгоревшего материала при определении коэффициента дымообразования. Представленная методика расчета видимости учитывает изменение указанных параметров.

Для оценки влияния параметров моделирования видимости при задымлении по представленной методике нами была проведена серия расчетов в помещении с варьированием пожарной нагрузки, цветовой гаммы интерьера и свободного объема помещения. Сопоставление расчетных данных по представленной методике и методике ГОСТ 12.1.004-91 показало, что время наступления потери видимости в условиях пожара при отсутствии учета доли сгоревшего материала увеличивается на 10 %. Время потери видимости уменьшается в среднем на 13 % для коэффициента отражения $\alpha = 0,1$ относительно стандартного ($\alpha = 0,3$) и увеличивается до 10 % при $\alpha = 0,8-0,9$.

Представленная методика позволяет повысить точность расчета времени наступления потери видимости и учесть эксплуатационные особенности помещений. Применение ее для практических расчетов позволит целенаправленно формировать компенсирующие мероприятия, позволяющие повысить безопасность людей при пожаре посредством выбора отделочных материалов (в том числе окраски) и освещенности помещений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Зотов, Ю.С. Процесс задымления помещений при пожаре и разработка метода необходимого времени эвакуации людей: дис. ... канд. техн. наук: 05.26.01 / Ю.С. Зотов. – М., 1989. – 273 л.
2. Серебренников, Д.С. Обзор моделей распространения дыма и определения дальности видимости [Электронный ресурс] / Д.С. Серебренников, К.Ю. Литвинцев // Технологии техносферной безопасности: Интернет-журнал. – 2011. – № 1 (35). – Режим доступа: <http://agps-2006.narod.ru/ttb/2011-1/06-01-11.ttb.pdf>. – Дата доступа: 01.11.2019.
3. McGrattan, K. Modeling Enclose Fires Using Computational Fluid Dynamics (CFD) / K. McGrattan, S. Miles // SFPE Handbook of Fire Protection Engineering / Ed.: P.J. DiNenno [et al.]. – 4th ed. – Quincy, Massachusetts: National Fire Protection Association, 2008. – Ch. 3. – P. 3229–3247.
4. Суриков, А.В. Определение значений параметров моделирования и интерпретация выходных данных в программном комплексе FDS при расчете видимости в условиях задымления / А.В. Суриков, Н.С. Лешенюк // Вестник Университета гражданской защиты МЧС Беларуси. – 2018. – Т. 2, № 3. – С. 308–319. DOI: 10.33408/2519-237X.2018.2-3.308.
5. Леонович, А.А. Аддитивность коэффициента дымообразования композиционных материалов / А.А. Леонович [и др.] // Безопасность людей при пожарах: сб. научн. тр. / Всеросс. научн.-исслед. ин-т противопожарной обороны. – М., 1984. – С. 97–100.
6. Суриков, А.В. Расчет видимости в помещениях в условиях пожара с применением программного комплекса FDS / А.В. Суриков, Н.С. Лешенюк // Вестник Университета гражданской защиты МЧС Беларуси. – 2018. – Т. 2, № 2. – С. 147–160. DOI: 10.33408/2519-237X.2018.2-2.147.
7. Mulholland, G.W. Specific extinction coefficient of flame generated smoke / G.W. Mulholland, C. Croarkin // Fire and Materials. – 2000. – Vol. 24, № 5. – P. 227–230. DOI: 10.1002/1099-1018(200009/10)24:5<227::AID-FAM742>3.0.CO;2-9
8. SFPE Handbook of Fire Protection Engineering / Ed.: P.J. DiNenno [et al.]. – 4th ed. – Quincy, Massachusetts: National Fire Protection Association, 2008. – 3396 p.

Методика расчета видимости при пожаре
Fire visibility calculation method

Суриков Андрей Валерьевич

Государственное учреждение образования
«Университет гражданской защиты
Министерства по чрезвычайным ситуациям
Республики Беларусь», кафедра организации
службы, надзора и правового обеспечения,
начальник кафедры

Адрес: 220118, Беларусь, г. Минск,
ул. Машиностроителей, 25
e-mail: shurikoff@bk.ru

Andrey V. Surikov

State Educational Establishment «University
of Civil Protection of the Ministry for Emergency
Situations of the Republic of Belarus»,
Chair of Organization of Service, Supervision
and Law Support, Head of the Chair

Address: 220118, Belarus, Minsk,
ul. Mashinostroiteley, 25
e-mail: shurikoff@bk.ru

Лешенюк Николай Степанович

доктор физико-математических наук, профессор

Государственное учреждение образования
«Университет гражданской защиты
Министерства по чрезвычайным ситуациям
Республики Беларусь», кафедра естественных
наук, профессор кафедры

Адрес: 220118, Беларусь, г. Минск,
ул. Машиностроителей, 25
e-mail: nleshenyuk@mail.ru

Nikolay S. Leshenyuk

Grand PhD in Physics and Mathematics Sciences,
Professor

State Educational Establishment «University
of Civil Protection of the Ministry for Emergency
Situations of the Republic of Belarus»,
Chair of Natural Sciences, Professor

Address: 220118, Belarus, Minsk,
ul. Mashinostroiteley, 25
e-mail: nleshenyuk@mail.ru

DOI: <https://doi.org/10.33408/2519-237X.2019.3-4.412>

FIRE VISIBILITY CALCULATION METHOD

Surikov A.V., Leshenyuk N.S.

Purpose. The development of a methodology for calculating visibility at a fire, based on a mathematical model of the propagation of optical radiation through a scattering medium and supplemented by taking into account modeling parameters.

Methods. Simulation of smoke dynamics in a fire.

Findings. A method for calculating the visibility of a fire based on a mathematical model of the propagation of optical radiation through a scattering medium and supplemented by taking into account the color of the interior of the premises, comprehensive assessment of the smoke-generating ability of the fire load and its share of combustion is presented. A methodology for determining the values and application of parameters for modeling visibility at a fire is described.

Application field of research. The results can be applied in fire modeling.

Keywords: modeling, visibility, smoke generating ability, specific smoke output, visibility factor, specific extinction index, illumination, reflection coefficient.

(The date of submitting: October 14, 2019)

REFERENCES

1. Zotov Yu.S. *Protsess zadymleniya pomeshcheniy pri pozhare i razrabotka metoda neobkhodimogo vremeni evakuatsii lyudey* [The process of smoke in a fire and the development of a method for the necessary time for evacuation of people]: PhD tech. sci. diss.: 05.26.01. Moscow, 1989. 273 p. (rus)
2. Serebrennikov D.S., Litvincev K.Yu. Obzor modeley rasprostraneniya dyma I opredeleniya dalynosti vidimosti [Models of smoke propagation and determination of range of visibility]. *Technology of technosphere safety*, 2011. № 1 (35), available at: <http://agps-2006.narod.ru/ttb/2011-1/06-01-11.ttb.pdf> (accessed: November, 11, 2019).
3. McGrattan K., Miles S. Modeling Enclose Fires Using Computational Fluid Dynamics (CFD). *SFPE Handbook of Fire Protection Engineering*. Ed. by P.J. DiNenno [et al.]. 4th ed. Quincy, Massachusetts: National Fire Protection Association, 2008. Ch. 3. Pp. 3229–3247.
4. Surikov A.V., Leshenyuk N.S. Determination of simulation parameters values and output data interpretation in FDS during calculating visibility in smoke conditions. *Journal of Civil Protection*, 2018. Vol. 2, No. 3. Pp. 308–319. (rus) DOI: 10.33408/2519-237X.2018.2-3.308.
5. Leonovich A.A. [et al.]. Additivnost' koeffitsienta dymoobrazovaniya kompozitsionnykh materialov [Additivity of the coefficient of smoke formation of composite materials]. *Bezopasnost' lyudey pri pozharakh*: collection of proceedings. Moscow, 1984. Pp. 147–160. (rus)
6. Surikov A.V., Leshenyuk N.S. Modeling of visibility in a room under fire conditions with application of the FDS software complex. *Journal of Civil Protection*, 2018. Vol. 2, No. 2. Pp. 147–160. (rus) DOI: 10.33408/2519-237X.2018.2-2.147.
7. Mulholland G.W., Croarkin C. Specific extinction coefficient of flame generated smoke. *Fire and Materials*, 2000. Vol. 24, No. 5. Pp. 227–230. DOI: 10.1002/1099-1018(200009/10)24:5<227::AID-FAM742>3.0.CO;2-9
8. *SFPE Handbook of Fire Protection Engineering*. Ed. by P.J. DiNenno [et al.]. 4th ed. Quincy, Massachusetts: National Fire Protection Association, 2008. 3396 p.