

А. Д. ИЩЕНКО, канд. техн. наук, доцент, профессор кафедры пожарной тактики и службы, Академия ГПС МЧС России (Россия, 129366, г. Москва, ул. Бориса Галушкина, 4; e-mail: adiko@mail.ru)

В. В. КЛЮЙ, канд. пед. наук, доцент, профессор кафедры организации пожаротушения и проведения аварийно-спасательных работ, Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России (Россия, 196105, г. Санкт-Петербург, Московский просп., 149; e-mail: opipasr@mail.ru)

С. В. ПОЛЫНЬКО, канд. техн. наук, доцент, заместитель начальника кафедры организации пожаротушения и проведения аварийно-спасательных работ, Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России (Россия, 196105, г. Санкт-Петербург, Московский просп., 149; e-mail: opipasr@mail.ru)

А. А. ТАРАНЦЕВ, д-р техн. наук, профессор, профессор кафедры организации пожаротушения и проведения аварийно-спасательных работ, Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России (Россия, 196105, г. Санкт-Петербург, Московский просп., 149); заведующий лабораторией проблем безопасности транспортных систем, Институт проблем транспорта им. Н. С. Соломенко Российской академии наук (ИПТ РАН) (Россия, 199178, г. Санкт-Петербург, 12-я линия ВО, 13; e-mail: t_54@mail.ru)

УДК 614.84

О ПОСТРОЕНИИ УТОЧНЕННОГО СОВМЕЩЕННОГО ГРАФИКА ДЛЯ РАСЧЕТА СИЛ И СРЕДСТВ ДЛЯ ТУШЕНИЯ ПОЖАРА

Рассмотрена задача построения уточненного совмещенного графика для расчета сил и средств пожарной охраны, привлекаемых к тушению возможного пожара, который может использоваться при разработке планов тушения пожаров для наиболее важных зданий и сооружений в гарнизонах пожарной охраны. Показано, что в отличие от стандартного совмещенного графика усовершенствованный график, помимо площади пожара, площади тушения, требуемого и фактического расхода огнетушащего вещества, учитывает периметр пожара у огнестойких ограждений (стен помещения) и текущий объем воды, расходуемый на тушение. Оценивается динамика линейной скорости распространения пожара и путь, пройденный его фронтом. Для облегчения и ускорения расчетов разработана специальная компьютерная программа. Приведены примеры усовершенствованных совмещенных графиков.

Ключевые слова: пожар; план тушения пожара; совмещенный график; расчет сил и средств; огнетушащее вещество; действия пожарных.

DOI: 10.18322/PVB.2018.27.02-03.82-92

Введение

Борьба с пожарами является одной из важнейших функций государства, ввиду чего 21.12.1994 был принят специальный Федеральный закон № 69-ФЗ “О пожарной безопасности” [1], разработана нормативная база, включающая ГОСТы (например, ГОСТ 12.1.004–91*), технический регламент [2], своды правил (СП) и другие документы [3]. Порядок тушения пожаров регламентирован приказом МЧС от 31.03.2011 № 156 [4]. Особенности тушения пожаров на различных объектах изложены в учебниках пожарной тактики [5–8], справочниках руководителя тушения пожара [9] и начальника караула пожарной части [10], руководствах [11] и других отечественных и зарубежных работах [12–15].

Тем не менее процесс тушения пожаров связан с риском для жизни и здоровья пожарных как у нас,

так и за рубежом [16–18]. В связи с этим был проведен ранее и проводится в настоящее время большой объем исследований в части развития и тушения пожаров [19–25], в том числе с применением робототехнических систем [26].

Важное место в обеспечении пожарной безопасности занимает составление планов тушения пожаров (ПТП) [27] с расчетом необходимого количества сил и средств (СиС) для наиболее значимых объектов в гарнизонах пожарной охраны. Неотъемлемой составляющей ПТП является построение совмещенного графика [5–8] для расчета сил и средств, необходимых для тушения прогнозируемого пожара класса А [2] в помещениях и зданиях объектов.

На совмещенном графике в декартовой системе координат одновременно отображается изменение во времени: площади пожара $S_{\text{п}}(t)$, площади туше-

ния $S_t(t)$, требуемого расхода огнетушащего вещества (ОТВ) (чаще всего воды) $Q_t(t)$ и его фактического расхода $Q_\phi(t)$ на тушение. Исходными данными для построения совмещенного графика являются: геометрия площади помещения; линейная скорость V распространения пламени по поверхности пожарной нагрузки; интенсивность подачи ОТВ I [9, 10]; вид стволов (как правило, “Б” для помещений) и время подачи их на тушение. При построении стандартного совмещенного графика принимаются следующие основные допущения:

- пожарная нагрузка однородна и равномерно распределена по площади помещения;
- линейная скорость $V(t)$ распространения пламени в первые 10 мин (пока пожарная нагрузка не прогрелась) вдвое меньше номинальной V_n , а затем достигает этой величины;
- тушение пожара осуществляется в глубину 5 м от фронта пожара.

Расчетный метод построения стандартного совмещенного графика согласно [5–8] регламентирует следующие действия.

1. Исходя из места расположения очага пожара определяется путь R , пройденный фронтом пожара:

$$R(t) = \int_0^t V(t) dt, \quad (1)$$

где t — время, отсчитываемое с момента начала пожара.

2. По зависимости $R(t)$ на основе геометрических соображений определяются площади $S_n(t)$ и $S_t(t)$. При этом чаще всего рассматриваются типовые случаи, когда очаг пожара в центре помещения, у стены или в углу.

3. По величине $S_t(t)$ определяется требуемый расход ОТВ $Q_{тр}$ на тушение пожара:

$$Q_{тр} = S_t I. \quad (2)$$

4. По данным о виде применяемых стволов (как правило, “Б”) определяется их минимально необходимое количество N_B для тушения:

$$N_B = \text{Ц}(Q_{тр}/q) + K, \quad (3)$$

где $\text{Ц}(x)$ — целая часть числа x , например: $\text{Ц}(5,7) = 5$;
 q — расход ОТВ из ствола; для ствола “Б” $q \approx 3,7$ л/с;

K — параметр, равный 1 для стандартного совмещенного графика.

5. В соответствии с расписанием выездов (расположением ближайших пожарных частей, привлекаемых к тушению данного пожара) определяется время подачи стволов и строится соответствующая ступенчатая функция $N_B(t)$.

6. Исходя из динамики подачи стволов на тушение $N_B(t)$ определяется фактический расход ОТВ на тушение:

$$Q_\phi(t) = N_B(t) q. \quad (4)$$

7. При выполнении условия

$$Q_\phi(t) > Q_{тр} \quad (5)$$

определяется время локализации пожара t_L по признаку достаточности количества стволов, подаваемых на тушение.

Таким образом, стандартный совмещенный график представляет собой набор функций $\{S_n(t), S_t(t), Q_{тр}(t), N_B(t), Q_\phi(t)\}$, располагаемых совместно в декартовой (прямоугольной) системе координат с горизонтальной осью, где отложено время t , отсчитываемое с момента начала возможного пожара. Зависимость $Q_\phi(t)$ совместно с расходом ОТВ $Q_{защ}$ на защиту конструкций от опасных факторов пожара [2] используется при составлении ПТП для расчета СиС и предварительного планирования действий по тушению возможного пожара, в том числе для оценки достаточности водоснабжения путем сопоставления суммарного расхода ОТВ $Q_{тз} = Q_\phi + Q_{защ}$ с табличным значением водоотдачи $Q_{таб}$ сети наружного противопожарного водопровода [9] и определения ранга пожара.

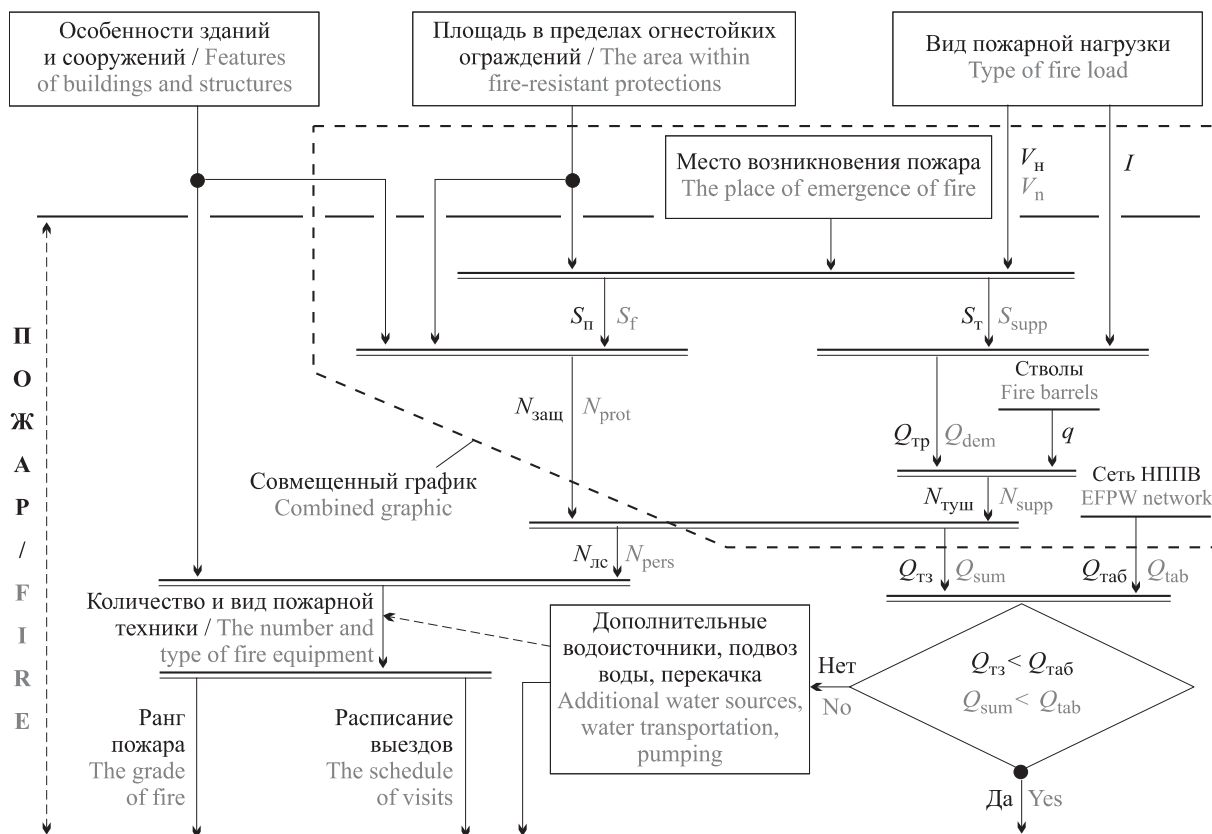
Обобщенная схема расчета СиС с учетом построения совмещенного графика, разработанная в [3], приведена на рис. 1.

Проблема

Тем не менее существующий подход [5–8] к построению стандартных совмещенных графиков имеет ряд недостатков:

- динамика параметров $S_n(t)$, $S_t(t)$, $Q_{тр}(t)$, $N_B(t)$ и $Q_\phi(t)$ при $t > t_L$ отображается весьма условно (в работе [28] приводятся лишь выражения, аналогичные (2)–(5), но не сам график; в учебнике [7] оговорено, что линейная скорость V убывает по мере подачи стволов на тушение, но рассматривается только упрощенный случай пожара прямоугольной формы; в работе [29] также весьма условно показана динамика S_n и S_t при $t > t_L$);
- такой упрощенный вид совмещенного графика при $t > t_L$ не дает объективной оценки времени прекращения открытого горения и изменения объема ОТВ $M(t)$, расходуемого на тушение;
- не предусматривается определение изменения периметра стен помещения (здания), подвергающегося воздействию пламени (“обогреваемого” периметра), и оценка риска превышения пределов огнестойкости стен [30];

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ ОБЪЕКТА
THE SOURCE DATA OBJECT



Локализация пожара, ликвидация открытого горения
Location of the fire, the elimination of open burning

Рис. 1. Обобщенная схема расчета СиС для тушения пожара: $N_{т}$, $N_{защ}$ — число стволов, подаваемых соответственно на тушение и защиту; $N_{лс}$ — количество привлекаемого личного состава; сеть НППВ — сеть наружного противопожарного водопровода
Fig. 1. General scheme of the calculation of forces and means to extinguish the fire: N_{supp} , N_{prot} — the number of trunks on suppression and protection, respectively; N_{pers} — the number of involved personnel; EFPW network — external fire-prevention water network

- не рассматриваются варианты подачи избыточного количества стволов на тушение, когда в выражении (3) $K > 1$;
- отмечается значительная трудоемкость построения совмещенного графика.

Целью настоящей статьи является разработка методики построения усовершенствованного совмещенного графика, лишенного данных недостатков. Для этого решаются следующие задачи:

- предлагается аналитическое выражение для оценки величины линейной скорости V распространения фронта пламени во времени в зависимости от количества стволов, подаваемых на тушение;
- предлагается выражение для изменения “обогреваемого” периметра ограждающих конструкций во времени для оценки их устойчивости при пожаре при известных пределах огнестойкости [30];

Таблица 1. Параметры свободного развития пожара при расположении очага в центре помещения
Table 1. Parameters for the free development of the fire in the hearth in the center of the room

$R, м / R, m$	$S_{п}, м^2 / S_{г}, м^2$	$П, м / П, m$	$П_{т}, м / П_{supp}, m$
$< 0,5a$	πR^2	0	$2\pi R$
$\in \left[\frac{a}{2}; \frac{b}{2} \right)$	$R^2 \left(\pi - 2 \arccos \frac{a}{2R} \right) + a \sqrt{R^2 - a^2/4}$	$4\sqrt{R^2 + a^2/4}$	$4R \arcsin \frac{a}{2R}$
$\in \left[\frac{b}{2}; \sqrt{\frac{a^2}{4} + \frac{b^2}{4}} \right)$	$R^2 \left(\pi - 2 \arccos \frac{a}{2R} - 2 \arccos \frac{b}{2R} \right) + a \sqrt{R^2 - 0,25a^2} + b \sqrt{R^2 - 0,25b^2}$	$4\sqrt{R^2 - a^2/4} + 4\sqrt{R^2 - b^2/4}$	$2R\pi - 4R \arccos \frac{a}{2R} - 4R \arcsin \frac{b}{2R}$

Таблица 2. Параметры свободного развития пожара при расположении очага у большей стенки ($2a > b$)

Table 2. Parameters for the free development of the fire in the hearth most of the wall ($2a > b$)

$R, \text{ м} / R, \text{ м}$	$S_{\text{п}}, \text{ м}^2 / S_{\text{г}}, \text{ м}^2$	$\Pi, \text{ м} / \Pi, \text{ м}$	$\Pi_{\text{т}}, \text{ м} / \Pi_{\text{supp}}, \text{ м}$
$< 0,5b$	$0,5\pi R^2$	$2R$	πR
$\in \left[\frac{b}{2}; a \right)$	$R^2 \left(\frac{\pi}{2} - \arccos \frac{b}{2R} \right) + \frac{b}{2} \sqrt{R^2 - b^2/4}$	$b + 2\sqrt{R^2 - b^2/4}$	$R \left(\pi - 2 \arccos \frac{b}{2R} \right)$
$\in \left[a; \sqrt{a^2 + \frac{b^2}{4}} \right)$	$R^2 \left(\frac{\pi}{2} - \arccos \frac{a}{R} - \arccos \frac{b}{2R} \right) +$ $+ a \sqrt{R^2 - a^2} + 0,5b \sqrt{R^2 - 0,25b^2}$	$b + 2\sqrt{R^2 - a^2} +$ $+ 2\sqrt{R^2 - b^2/4}$	$\pi R - 2R \arccos \frac{a}{R} -$ $- 2R \arccos \frac{b}{2R}$

Таблица 3. Параметры свободного развития пожара при расположении очага у большей стенки ($2a \leq b$)

Table 3. Parameters for the free development of the fire in the hearth most of the wall ($2a \leq b$)

$R, \text{ м} / R, \text{ м}$	$S_{\text{п}}, \text{ м}^2 / S_{\text{г}}, \text{ м}^2$	$\Pi, \text{ м} / \Pi, \text{ м}$	$\Pi_{\text{т}}, \text{ м} / \Pi_{\text{supp}}, \text{ м}$
$< a$	$0,5\pi R^2$	$2R$	πR
$\in \left[a; \frac{b}{2} \right)$	$R^2 \left(\frac{\pi}{2} - \arccos \frac{a}{R} \right) + a \sqrt{R^2 - a^2}$	$2 \left(R + \sqrt{R^2 - a^2} \right)$	$R \left(\pi - 2 \arccos \frac{a}{R} \right)$
$\in \left[\frac{b}{2}; \sqrt{a^2 + \frac{b^2}{4}} \right)$	$R^2 \left(\frac{\pi}{2} - \arccos \frac{a}{R} - \arccos \frac{b}{2R} \right) +$ $+ a \sqrt{R^2 - a^2} + 0,5b \sqrt{R^2 - 0,25b^2}$	$b + 2\sqrt{R^2 - a^2} +$ $+ 2\sqrt{R^2 - b^2/4}$	$\pi R - 2R \arccos \frac{a}{R} -$ $- 2R \arccos \frac{b}{2R}$

Таблица 4. Параметры свободного развития пожара при очаге у меньшей стенки

Table 4. Parameters for the free development of the fire in the hearth have a smaller wall

$R, \text{ м} / R, \text{ м}$	$S_{\text{п}}, \text{ м}^2 / S_{\text{г}}, \text{ м}^2$	$\Pi, \text{ м} / \Pi, \text{ м}$	$\Pi_{\text{т}}, \text{ м} / \Pi_{\text{supp}}, \text{ м}$
$< 0,5a$	$0,5\pi R^2$	$2R$	πR
$\in \left[\frac{a}{2}; b \right)$	$R^2 \left(\frac{\pi}{2} - \arccos \frac{a}{2R} \right) + \frac{a}{2} \sqrt{R^2 - a^2/4}$	$a + 2\sqrt{R^2 - a^2/4}$	$R \left(\pi - 2 \arccos \frac{a}{2R} \right)$
$\in \left[b; \sqrt{\frac{a^2}{4} + b^2} \right)$	$R^2 \left(\frac{\pi}{2} - \arccos \frac{a}{2R} - \arccos \frac{b}{R} \right) +$ $+ 0,5a \sqrt{R^2 - 0,25a^2} + b \sqrt{R^2 - b^2}$	$a + 2\sqrt{R^2 - a^2/4} +$ $+ 2\sqrt{R^2 - b^2}$	$\pi R - 2R \arccos \frac{b}{R} -$ $- 2R \arccos \frac{a}{2R}$

Таблица 5. Параметры свободного развития пожара при расположении очага в углу помещения

Table 5. Parameters for the free development of the fire in the hearth in corner of room

$R, \text{ м} / R, \text{ м}$	$S_{\text{п}}, \text{ м}^2 / S_{\text{г}}, \text{ м}^2$	$\Pi, \text{ м} / \Pi, \text{ м}$	$\Pi_{\text{т}}, \text{ м} / \Pi_{\text{supp}}, \text{ м}$
$< a$	$0,25\pi R^2$	$2R$	$0,5\pi R$
$\in [a; b)$	$\frac{R^2}{2} \left(\frac{\pi}{2} - \arccos \frac{a}{R} \right) + \frac{a}{2} \sqrt{R^2 - a^2}$	$a + R + \sqrt{R^2 - a^2}$	$R \left(\frac{\pi}{2} - 2 \arccos \frac{a}{R} \right)$
$\in \left[b; \sqrt{a^2 + b^2} \right)$	$\frac{R^2}{2} \left(\frac{\pi}{2} - \arccos \frac{a}{R} - \arccos \frac{b}{R} \right) +$ $+ 0,5a \sqrt{R^2 - a^2} + 0,5b \sqrt{R^2 - b^2}$	$a + \sqrt{R^2 - a^2} +$ $+ b + \sqrt{R^2 - b^2}$	$\frac{\pi R}{2} - R \arccos \frac{b}{R} -$ $- R \arccos \frac{a}{R}$

- разработана компьютерная программа для построения усовершенствованного совмещенного графика, позволяющая в интерактивном режиме моделировать развитие пожара и варианты его тушения при различной динамике подачи стволов на тушение $N_{\text{Б}}(t)$ с оценкой изменения площадей

$S_{\text{п}}(t)$ и $S_{\text{г}}(t)$, периметра пожара $\Pi(t)$, фактического расхода $Q_{\text{ф}}(t)$ и общего количества $M(t)$ ОТВ.

Построение усовершенствованного совмещенного графика значительно облегчает расчет СиС при составлении ПТП [4], а также при подготовке пожарных специалистов.

Построение усовершенствованного совмещенного графика

Для построения усовершенствованного совмещенного графика предложено, помимо вышеупомянутых действий 1–7, давать оценку изменения линейной скорости распространения пламени по пожарной нагрузке по выражению

$$V(t) = V_n \left(1 - \frac{Q_\phi(t)}{Q_{тр}} \right). \quad (6)$$

Отрицательные значения скорости $V(t)$ могут свидетельствовать о том, что площадь пожара S_n стала сокращаться, т. е. достигнуто одно из условий его локализации.

Для упрощения и ускорения расчетов разработана специальная компьютерная программа SPFIRE.EXE, в которой динамика изменения площади $S_n(t)$, “обогреваемого” периметра стен $\Pi(t)$ и периметра тушения $\Pi_t(t)$ определяется по геометрическим соотношениям из табл. 1–5 с учетом (1) и предельного соотношения

$$\left(\begin{array}{l} S_n = ab \\ \Pi = 2(a + b) \end{array} \right) \text{ при}$$

$$R_{\max} = \begin{cases} 0,5\sqrt{a^2 + b^2} & \text{очаг в центре помещения;} \\ \sqrt{a^2 + 0,25b^2} & \text{очаг у большей стены;} \\ \sqrt{0,25a^2 + b^2} & \text{очаг у меньшей стены;} \\ \sqrt{a^2 + b^2} & \text{очаг в углу помещения,} \end{cases} \quad (7)$$

где a, b — ширина и длина помещения соответственно;

$R_{\max}$ — максимальное расстояние от очага пожара до наиболее удаленной части помещения.

Используются также известные выражения (2)–(4) и (6), а количество ОТВ, расходуемое на тушение, определяется как:

$$M(t) = \int_0^t Q_\phi(t) dt. \quad (8)$$

С помощью программы SPFIRE.EXE проведено моделирование четырех вариантов возможного пожара (очаг в углу, у меньшей стены, у большей стены и в центре помещения) на складе размером 10×20 м с пожарной нагрузкой, для которой номинальная линейная скорость распространения пламени $V_n \approx 1$ м/мин, интенсивность подачи ОТВ (воды) на тушение $I = 0,2$ л/(м²·с), и построены усовершенствованные совмещенные графики (рис. 2). На них изображены совместно параметры пожара и тушения $\{S_n(t), S_t(t), Q_{тр}(t), Q_\phi(t), \Pi(t), M(t)\}$, позволяющие объективно (в рамках оговоренных допущений) оценить время локализации пожара t_d и время ликвидации открытого горения, а также динамику из-

менения указанных параметров при различном числе N_B подаваемых на тушение стволов. Для справки: на рис. 3 показана динамика подачи стволов $N_B(t)$, изменения расстояния $R(t)$ и линейной скорости фронта пожара $V(t)$. На рис. 2, в, 2, г и рис. 3, в, 3, г пунктиром показаны параметры при подаче одного сверхнормативного ствола, на рис. 2, г и 3, г штрихпунктиром отмечена динамика параметров при подаче двух сверхнормативных стволов (8 вместо требуемых 6).

Выводы

Таким образом, проиллюстрирована возможность построения усовершенствованных совмещенных графиков развития и тушения пожара, на которых в динамике совместно представлены основные параметры: $\{S_n(t), S_t(t), Q_{тр}(t), Q_\phi(t), \Pi(t), M(t)\}$, позволяющие определить не только время локализации пожара, но и время ликвидации открытого горения, что крайне условно делалось в стандартных совмещенных графиках.

Показана возможность сокращения времени ликвидации открытого горения и, как следствие, общего объема ОТВ, использованного при подаче сверхнормативного количества стволов на тушение. Обеспечена возможность оценки времени воздействия пламени на ограждающие конструкции и поврежденной пожаром площади помещения.

Усовершенствованный совмещенный график позволяет более качественно планировать действия по тушению возможного пожара, так как становится возможным спрогнозировать время ликвидации открытого горения, необходимый для тушения объем ОТВ, оценить риск разрушения ограждающих конструкций от продолжительности воздействия пламени на периметр помещения и, при необходимости, предложить меры по защите ограждающих конструкций в зависимости от их пределов огнестойкости.

Процесс построения совмещенного графика реализован в виде компьютерной программы, что позволяет оперативно рассмотреть различные варианты развития и тушения пожара.

На основе проведенного моделирования показано, что сверхнормативная подача стволов на тушение пожара хотя и потребует соответственно большего расхода ОТВ и количества пожарных, но ускорит ликвидацию открытого горения и позволит сэкономить общий объем ОТВ, что имеет существенное значение при ограниченных размерах пожарных водоемов и необходимости защиты нижележащих этажей от повреждения избыточным количеством воды.

Рассмотренный подход может использоваться как при создании и переработке ПТП, так и при подготовке специалистов в области пожарной безопасности.

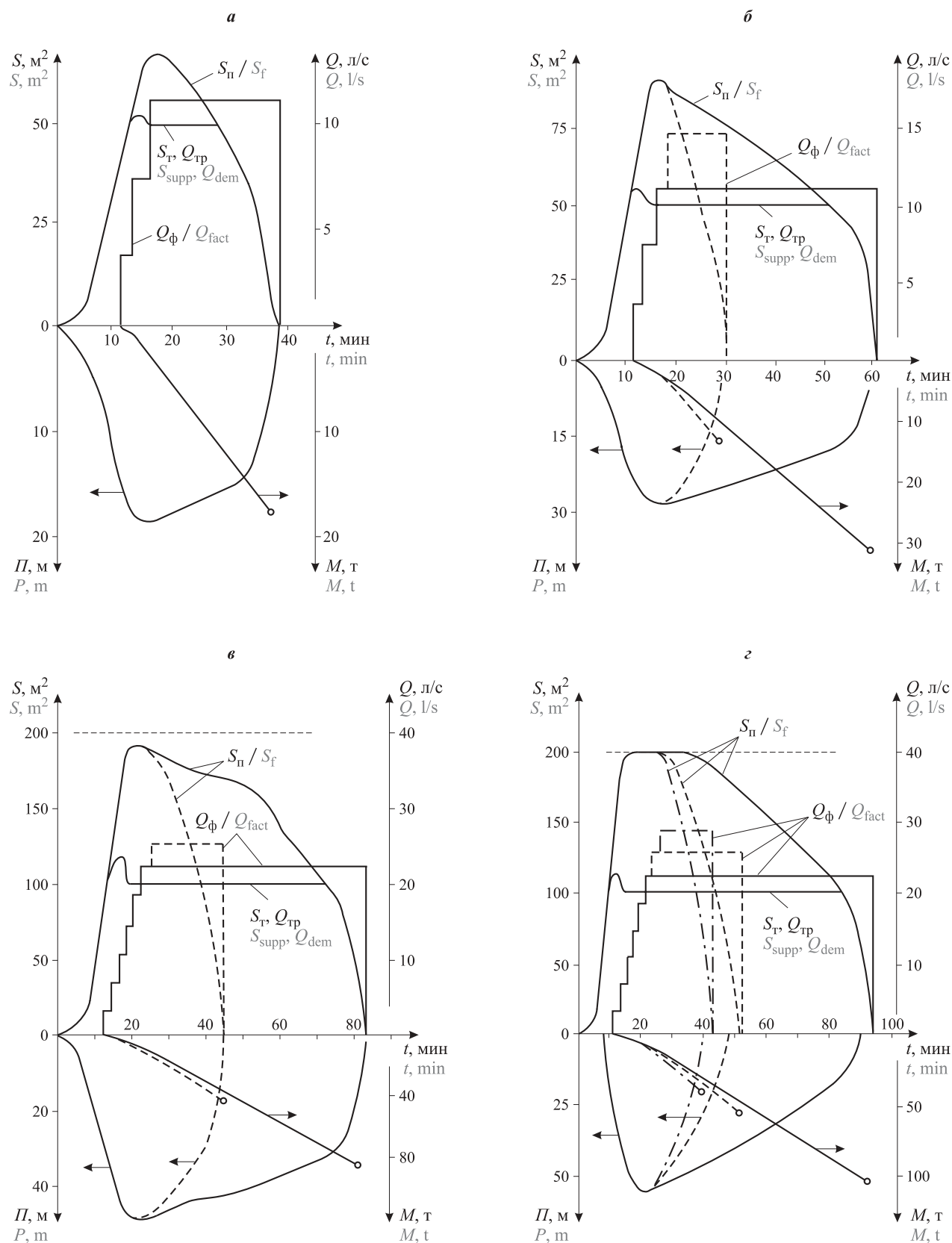


Рис. 2. Примеры усовершенствованных совмещенных графиков для пожара класса А в помещении 10×20 м при $V_n = 1$ м/мин и $I = 0,2$ л/(м²·с) при расположении очага пожара в углу помещения (а), у меньшей стены (б), у большей стены (в), в центре (г)

Fig. 2. Examples of combined improved graphics for the fire class A in the room 10×20 m at $V_n = 1$ m/min and $I = 0.2$ l/(m²·s) in location of the fire in the corner of premise (a), in a small wall (b), in most wall (v), in center (g)

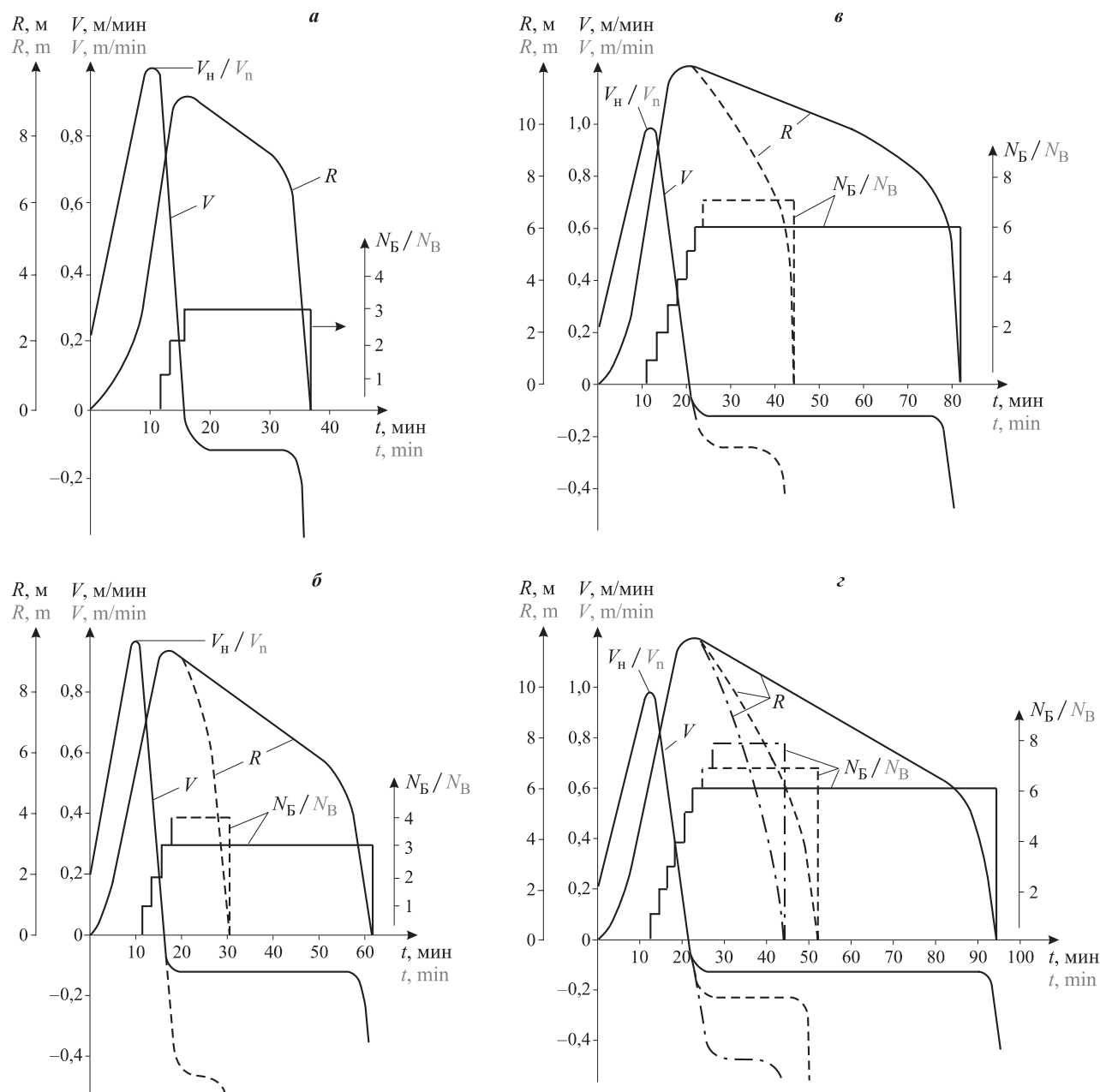


Рис. 3. Примеры оценки линейной скорости V распространения пожара класса А, расстояния R от очага пожара до крайней части его фронта и числа стволов “Б” N_B , поданных на тушение, при расположении очага в углу помещения (а), у меньшей стены (б), у большей стены (в), в центре (г)

Fig. 3. Examples of evaluating linear velocity V of propagation of fire class A, the distance R from the fire to the extreme parts of its front and the number N_B filed trunks “B” to extinguish in location of the fire in the corner of premise (a), in a small wall (b), in most wall (v), in center (g)

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. О пожарной безопасности : Федер. закон РФ от 21.12.1994 № 69-ФЗ (ред. от 29.07.2017). URL: <http://docs.cntd.ru/document/%209028718> (дата обращения: 25.12.2017).
2. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности : Федер. закон РФ от 22.07.2008 № 123-ФЗ (в ред. от 29.07.2017). URL: <http://docs.cntd.ru/document/902111644> (дата обращения: 10.05.2017).
3. Таранцев А. А., Дорожкин А. С., Потапенко В. В. О взаимосвязях в нормативных документах в части обеспечения пожарной безопасности зданий и сооружений // Проблемы управления рисками в техносфере. — 2016. — № 4(40). — С. 29–34.
4. Порядок тушения пожаров подразделениями пожарной охраны : приказ МЧС РФ от 31.03.2011 № 156. URL: <http://docs.cntd.ru/document/902273382> (дата обращения: 25.12.2017).

5. Решетов А. П., Ключ В. В., Бондарь А. А., Косенко Д. В. Планирование и организация тушения пожаров. Пожарная тактика : учебник. — СПб. : Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС РФ, 2015. — 426 с.
6. Бондарь А. А., Косенко Д. В., Ключ В. В., Решетов А. П. Пожаротушение : учебное пособие. — СПб. : Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС РФ, 2017. — Ч. 1. — 165 с.
7. Пожарная тактика : учебник / Под ред. Я. С. Повзика. — М. : ВИПТШ МВД СССР, 1984. — 480 с.
8. Терехин В. В. Пожарная тактика. Понятие о тушении пожара. — Екатеринбург : Калан, 2010. — 356 с.
9. Повзик Я. С. Справочник руководителя тушения пожара. — М. : Спецтехника, 2001. — 201 с.
10. Мельник А. А., Мартинович Н. В., Калужина Ж. С. Справочник начальника караула пожарной части. — 3-е изд., перераб. и доп. — Красноярск : Сибирская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, 2017. — 176 с.
11. Norman J. Fire officer's handbook of tactics. Part 1. — 4th ed. — Tulsa : Penn Well Corporation, 2012. — Vol. XIX. — 634 p.
12. Essentials of fire fighting. — 5th ed. / International Fire Service Training Association. — Stillwater : Oklahoma State University, 2008.
13. Kerber S., Madrzykowski D. Fire fighting tactics under wind driven fire conditions: 7-story building experiments / NIST Technical Note 1629. — Gaithersburg : U. S. Department of Commerce, April 2009. — 593 p. DOI: 10.6028/nist.tn.1629.
14. Gsell J. Assessment of fire suppression capabilities of water mist. Fighting compartment fires with the cutting extinguisher : PhD thesis. — Belfast : Ulster University, 2010. — 138 p.
15. Madrzykowski D., Kerber S. Fire fighting tactics under wind driven conditions: laboratory experiments / NIST Technical Note 1618. — Gaithersburg : U. S. Department of Commerce. — January 2009. — 413 p. DOI: 10.6028/nist.tn.1618.
16. Fahy R. F., LeBlanc P. R. Firefighter fatalities in the United States-2005. — Quincy, MA : National Fire Protection Association, 2006. — 30 p.
17. Karter M. J. Patterns of firefighter fireground injuries. — Quincy, MA : National Fire Protection Association, 2012.
18. Career firefighter dies in wind driven residential structure fire — Virginia / NIOSH Report F2007-12. — Morgantown : NIOSH, Fire Fighter Fatality Investigation and Prevention Program, 2008.
19. Таранцев А. А. Методы расчетной оценки динамики пожаров в помещениях // Пожаровзрывобезопасность / Fire and Explosion Safety. — 2013. — Т. 22, № 3. — С. 82–85.
20. Астахов П. В., Волков С. А. Компьютерное моделирование пожара на складах с высотным стеллажным хранением при помощи программы “Fire Dynamics Simulator” // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. — 2014. — № 2. — С. 24–28.
21. Кузьмин А. А., Романов Н. Н., Волков Д. П. Исследование температурного поля в ограждающих конструкциях на основе результатов моделирования объемного пожара в помещениях // Проблемы управления рисками в техносфере. — 2016. — № 4(40). — С. 58–65.
22. McGrattan K., Klein B., Hostikka S., Floyd J. Fire dynamics simulator (version 6) // National Institute of Standards and Technology Special Publication 1018. — Washington : U. S. Government Printing Office, 2013. — 149 p.
23. Dwaikat M. B., Kodur V. K. Effect of fire scenario, restraint conditions, and spalling on the behavior of RC beams // Proceedings of 5th International Conference on Structures in Fire. — Singapore, 2008. — P. 369–379.
24. Lautenberger C., Fernandez-Pello A. C. Modeling ignition of combustible fuel beds by embers and heated particles // International Conference on Modelling, Monitoring and Management of Forest Fires (17–19 September 2008, Toledo, Spain). URL: http://cpl.berkeley.edu/publications/lautenberger_forest_fires_2008.pdf (дата обращения: 20.12.2017).
25. Izydorek M., Zeeveld P., Samuels M., Smyser J. Structural stability of engineered lumber in fire conditions. — Northbrook, IL : Underwriters Laboratories, Inc., 2008. — 178 p. URL: <http://www.global-firersearch.com/reports/research/structural-stability-of-engineered-lumber-in-fire-conditions#.WpF7jd8pLIU> (дата обращения: 20.12.2017).
26. Kim Y.-D., Kim Y.-G., Lee S.-H., Kang J.-H., An J. Portable fire evacuation guide robot system // International Conference on Intelligent Robots and Systems (10–15 October 2009, St. Louis, USA). — IEEE, 2009. — P. 2789–2794. DOI: 10.1109/iros.2009.5353970.
27. Методические рекомендации по составлению планов тушения пожара и карточек тушения пожара : утв. письмом МЧС РФ от 27.02.2013 № 2-4-87-1-18. URL: <http://docs.cntd.ru/document/499028650> (дата обращения: 15.12.2017).

28. Кимстач И. Ф., Девлишев П. П., Евтюшкин Н. М. Пожарная тактика : учебное пособие. — М. : Стройиздат, 1984. — 592 с.
29. Подгруппный А. В., Захаревский Б. Б., Денисов А. Н., Сверчков Ю. М. Методические указания к решению тактических задач по теме “Основы прогнозирования обстановки на пожаре. Локализация и ликвидация пожаров”. — М. : АГПС МЧС России, 2005. — 37 с.
30. Справочник по огнестойкости и пожарной опасности строительных конструкций, пожарной опасности строительных материалов и огнестойкости инженерного оборудования зданий. — М. : ВНИИПО, 1999. — 63 с.

Материал поступил в редакцию 1 января 2018 г.

Для цитирования: Ищенко А. Д., Ключ В. В., Полянко С. В., Таранцев А. А. О построении уточненного совмещенного графика для расчета сил и средств для тушения пожара // Пожаровзрывобезопасность / Fire and Explosion Safety. — 2018. — Т. 27, № 2-3. — С. 82–92. DOI: 10.18322/PVB.2018.27.02-03.82-92.

English

ABOUT BUILDING A REVISED COMBINED GRAPHICS THE CALCULATION OF FORCES AND MEANS TO EXTINGUISH THE FIRE

ISHCHENKO A. D., Candidate of Technical Sciences, Docent, Professor of Fire Tactics and Service Department, State Fire Academy of Emercom of Russia (Borisa Galushkina St., 4, Moscow, 129366, Russian Federation; e-mail: adiko@mail.ru)

KLYUY V. V., Candidate of Pedagogical Sciences, Docent, Professor of Fire and Rescue Works Department, Saint Petersburg University of State Fire Service of Emercom of Russia (Moskovskiy Avenue, 149, Saint Petersburg, 196105, Russian Federation; e-mail: opipasr@mail.ru)

POLYNKO S. V., Candidate of Technical Sciences, Deputy Chief of Department of Fire and Rescue Works Department, Saint Petersburg University of State Fire Service of Emercom of Russia (Moskovskiy Avenue, 149, Saint Petersburg, 196105, Russian Federation; e-mail: opipasr@mail.ru)

TARANTSEV A. A., Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of Fire and Rescue Works Department, Saint Petersburg University of State Fire Service of Emercom of Russia (Moskovskiy Avenue, 149, Saint Petersburg, 196105, Russian Federation); Head of Laboratory of Problems of Transport Systems Safety, Solomenko's Institute of Transport Problems of the Russian Academy of Sciences (12-ya Line VO, 13, Saint Petersburg, 199178, Russian Federation; e-mail: t_54@mail.ru)

ABSTRACT

Article belongs to fire tactics, her materials can be used when calculating forces and means necessary for suppression of the alleged fire of a class A at drawing up plans of fire extinguishing for the most significant objects.

The existing order of drawing up the combined schedules (i. e. schedules on which it is at the same time presented the loudspeaker of the fire area S_p , the area of suppression of S_{supp} , demanded Q_{dem} and the actual Q_{fact} of a consumption of fire extinguishing substance) for calculation of forces and means has a number of shortcomings. Namely:

- doesn't consider dynamics of perimeter of the protecting designs which are affected by dangerous factors of the fire and having limited limits of fire resistance;
- doesn't provide (as a rule) assessment of time of elimination of the open burning causing the general duration of fire extinguishing;
- doesn't consider the volume of the fire extinguishing substance (water) spent for suppression that is important at the limited capacity of reservoirs;
- assumes carrying out labor-consuming calculations, and the computer programs convenient for experts and students, are practically absent or sin with inaccuracies.

In this regard the authors who are experts in the field of fire tactics have offered a method of creation of the specified combined schedules in which besides the S_f , S_{supp} , Q_{dem} and Q_{fact} parameters, dynamics of the “warmed” perimeter and amount of the spent fire extinguishing substance is considered. The method is based on the known provisions of fire and tactical calculations and allows to estimate duration of impact of a flame on room walls, the general time of suppression and volume (weight) of the spent fire extinguishing substance.

The method of creation of the specified combined schedule is realized in the form of the computer program in a format of the EXE-file which isn't demanding the specialized software and high qualification of users. In article examples of creation of the specified combined schedules consistent with experience of many specialists in suppression of the fires are given. The method and the program have been successfully tested and used in the educational process.

Keywords: fire; fire extinguishing plan; combined schedule; forces and means calculation; extinguishing agent; firemen's activity.

REFERENCES

1. *On fire safety*. Federal law of Russian Federation on 21.12.1994 No. 69-FZ (ed. on 29.07.2017) (in Russian). Available at: <http://docs.cntd.ru/document/%209028718> (Accessed 25 December 2017).
2. *Technical regulations for fire safety requirements*. Federal Law of Russian Federation on 22.07.2008 No. 123-FZ (ed. on 29.07.2017) (in Russian). Available at: <http://docs.cntd.ru/document/902111644> (Accessed 10 May 2017).
3. Tarantsev A. A., Dorozhkin A. S., Potapenko V. V. On the relationships in the regulations in terms of ensuring fire safety of buildings and structures. *Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere / Problems of Technosphere Risk Management*, 2016, no. 4(40), pp. 29–34 (in Russian).
4. *Procedure of extinguishing fires by the fire departments*. Order of Emercom of the Russian Federation on 31.03.2011 No. 156 (in Russian). Available at: <http://docs.cntd.ru/document/902273382> (Accessed 25 December 2017).
5. Reshetov A. P., Klyuy V. V., Bondar A. A., Kosenko D. V. *Planirovaniye i organizatsiya tusheniya pozharov. Pozharnaya taktika. Uchebnik* [Planning and organization of suppression of fires. Firefighting tactics. Tutorial]. Saint Petersburg, Saint Petersburg University of State Fire Service of Emercom of Russia Publ., 2015. 426 p. (in Russian).
6. Bondar A. A., Kosenko D. V., Klyuy V. V., Reshetov A. P. *Pozharotusheniye. Uchebnoye posobiye* [Fire extinguishing. Tutorial]. Saint Petersburg, Saint Petersburg University of State Fire Service of Emercom of the Russia Publ., 2017, part 1. 165 p. (in Russian).
7. Povzik Ya. S. (ed.). *Pozharnaya taktika. Uchebnik* [Firefighting tactics. Tutorial]. Moscow, High Engineering Fire Technical School of Ministry of the Interior of USSR Publ., 1984. 480 p. (in Russian).
8. Terebnev V. V. *Pozharnaya taktika. Ponyatiye o tushenii pozhara* [Firefighting tactics. The concept of fire fighting]. Yekaterinburg, Kalan Publ., 2010. 356 p. (in Russian).
9. Povzik Ya. S. *Spravochnik rukovoditelya tusheniya pozhara* [Directory of head of fire extinguishing]. Moscow, Spetstekhnika Publ., 2001. 201 p. (in Russian).
10. Melnik A. A., Martinovich N. V., Kalyuzhina Zh. S. *Spravochnik nachalnika karaula pozharoy chasti* [Directory of chief of the guard fire station]. 3th ed. Krasnoyarsk, Siberian Fire and Rescue Academy of State Fire Service of Emercom of Russia Publ., 2017. 176 p. (in Russian).
11. Norman J. *Fire officer's handbook of tactics*. Part 1. 4th ed. Tulsa, Penn Well Corporation, 2012, vol. XIX. 634 p.
12. International Fire Service Training Association. *Essentials of fire fighting*. 5th ed. Stillwater, Oklahoma State University, 2008.
13. Kerber S., Madrzykowski D. *Fire fighting tactics under wind driven fire conditions: 7-story building experiments NIST Technical Note 1629*. Gaithersburg, U. S. Department of Commerce, April 2009. 593 p. DOI: 10.6028/nist.tn.1629.
14. Gsell J. *Assessment of fire suppression capabilities of water mist. Fighting compartment fires with the cutting extinguisher*. PhD thesis. Belfast, Ulster University, 2010. 138 p.
15. Madrzykowski D., Kerber S. *Fire fighting tactics under wind driven conditions: laboratory experiments. NIST Technical Note 1618*. Gaithersburg, U. S. Department of Commerce, January 2009. 413 p. DOI: 10.6028/nist.tn.1618.
16. Fahy R. F., LeBlanc P. R. *Firefighter fatalities in the United States-2005*. Quincy, MA, National Fire Protection Association, 2006. 30 p.

17. Karter M. J. *Patterns of firefighter fireground injuries*. Quincy, MA, National Fire Protection Association, 2012.
18. *Career firefighter dies in wind driven residential structure fire — Virginia*. NIOSH Report F2007–12. Morgantown, NIOSH, Fire Fighter Fatality Investigation and Prevention Program, 2008.
19. Tarantsev A. A. Estimation methods of fire dynamics in premises. *Pozharovzryvbezopasnost / Fire and Explosion Safety*, 2013, vol. 22, no. 3, pp. 82–85 (in Russian).
20. Astakhov P. V., Volkov S. A. Fire computer modelling in warehouses with high-rise shelf storage by using the program “Fire Dynamics Simulator”. *Pozhary i chrezvychaynyye situatsii: predotvrashcheniye, likvidatsiya / Fire and Emergencies: Prevention, Elimination*, 2014, no. 2, pp. 24–28 (in Russian).
21. Kuzmin A. A., Romanov N. N., Volkov D. P. Temperature field in enclosures investigation on the basis of the volume indoor fire simulation results. *Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere / Problems of Technosphere Risk Management*, 2016, no. 4(40), pp. 58–65 (in Russian).
22. McGrattan K., Klein B., Hostikka S., Floyd J. *Fire dynamics simulator (version 6)*. National Institute of Standards and Technology Special Publication 1018. Washington, U. S. Government Printing Office, 2013. 149 p.
23. Dwaikat M. B., Kodur V. K. Effect of fire scenario, restraint conditions, and spalling on the behavior of RC beams. In: *Proceedings of 5th International Conference on Structures in Fire*. Singapore, 2008, pp. 369–379.
24. Lautenberger C., Fernandez-Pello A. C. Modeling ignition of combustible fuel beds by embers and heated particles. In: *International Conference on Modelling, Monitoring and Management of Forest Fires* (17–19 September 2008, Toledo, Spain). Available at: http://cpl.berkeley.edu/publications/lautenberger_forest_fires_2008.pdf (Accessed 20 December 2017).
25. Izydorek M., Zeeveld P., Samuels M., Smyser J. Structural stability of engineered lumber in fire conditions. Northbrook, IL, Underwriters Laboratories, Inc., 2008. 178 p. Available at: <http://www.global-firereseach.com/reports/research/structural-stability-of-engineered-lumber-in-fire-conditions#.WpF7jd8pLIU> (Accessed 20 December 2017).
26. Kim Y.-D., Kim Y.-G., Lee S.-H., Kang J.-H., An J. Portable fire evacuation guide robot system. In: *International Conference on Intelligent Robots and Systems* (10–15 October 2009, St. Louis, USA). IEEE, 2009, pp. 2789–2794. DOI: 10.1109/iros.2009.5353970.
27. *Methodical recommendations on drawing up plans for extinguishing the fire and cards of fire extinguishing*. Letter of Emercom of Russia on 27.02.2013 No. 2-4-87-1-18 (in Russian). Available at: <http://docs.cntd.ru/document/499028650> (Accessed 15 December 2017).
28. Kimstach I. F., Devlishev P. P., Yevtyushkin N. M. *Pozharnaya taktika. Uchebnoye posobiye* [Fire-fighting tactics. Tutorial]. Moscow, Stroyizdat, 1984. 592 p. (in Russian).
29. Podgrushnyy A. V., Zakharevskiy B. B., Denisov A. N., Sverchkov Yu. M. *Metodicheskiye ukazaniya k resheniyu takticheskikh zadach po teme “Osnovy prognozirovaniya obstanovki na pozhare. Lokalizatsiya i likvidatsiya pozharov”* [Guidance to the solution of tactical problems on the subject “Fundamentals of forecasting on fire. Localization and liquidation of fires”]. Moscow, State Fire Academy of Emercom of Russia Publ., 2005. 37 p. (in Russian).
30. *Handbook of fire resistance and fire danger of building structures, the fire hazard of building materials and fire resistance of engineered buildings*. Moscow, VNIPO Publ., 1999. 63 p. (in Russian).

For citation: Ishchenko A. D., Klyuy V. V., Polynko S. V., Tarantsev A. A. About building a revised combined graphics the calculation of forces and means to extinguish the fire. *Pozharovzryvbezopasnost / Fire and Explosion Safety*, 2018, vol. 27, no. 2-3, pp. 82–92 (in Russian). DOI: 10.18322/PVB.2018.27.02-03.82-92.