

ОБ ОБЕСПЕЧЕНИИ НЕПРЕРЫВНОГО ТУШЕНИЯ ПОЖАРОВ КРИТИЧЕСКИ ВАЖНЫХ ОБЪЕКТОВ В УСЛОВИЯХ ЗАДЫМЛЕНИЯ

Рассмотрены порядок уточнённой оценки необходимых сил и средств для тушения пожаров в задымлённых помещениях критически важных объектов с учётом ограниченного времени работы звеньев газодымозащитной службы и задача определения их необходимого числа для обеспечения непрерывной работы в условиях задымления. Показана возможность решения данной задачи в детерминированном варианте с использованием методов интервального анализа и действий со случайными величинами. Сделаны выводы о необходимости корректировки расчёта привлекаемых сил для тушения пожаров в условиях задымления.

Ключевые слова: расчёт сил и средств, звенья газодымозащитной службы, план тушения пожара, совмещённый график, интервальный анализ, случайные величины.

Статья поступила в редакцию Интернет-журнала 30 сентября 2017 г.

Тушение пожаров на объектах, которые обеспечивают жизнедеятельность населения и безопасность государства наряду с задачей спасения людей и сохранения материальных ценностей должно предусматривать и сохранение устойчивости объекта после пожара, а в некоторых случаях и при пожаре.

Характерным примером критически важных объектов, последствия пожаров на которых приводят к нарушению жизнедеятельности населения, являются объекты энергетики. Так, прекращение подачи тепловой и электрической энергии, особенно в условиях низких температур окружающего воздуха, зачастую приводит к возникновению **чрезвычайной ситуации (ЧС)** на территории населённых пунктов и целых регионов.

Такие пожары за последние годы на территории страны происходят ежегодно – Новосибирская ТЭЦ-2 и Верхнетагильская ГРЭС (2011 г.), Тверская ТЭЦ-3 (2012 г.), Кармановская ГРЭС (2013 г.), Кизеловская ГРЭС (2014 г.), Сургутская и Серовская ГРЭС (2015 г.), Березовская, Рефтинская и Самарская ГРЭС (2016 г.). 1 октября 2017 г. из-за взрыва в помещении с резервными турбинами Якутской ГРЭС, который привёл к возгоранию масла, прекращена работа двух электростанции. Площадь пожара составила 70 м² (рис. 1).



Рис. 1. Пожар на Якутской ГРЭС 1 октября 2017 г.

Из-за отключения Якутской ГРЭС перестала генерировать электричество Якутская ТЭЦ (филиал ПАО "Якутскэнерго") в результате чего г. Якутск и его пригороды, а также четыре района Республики Саха оказались обесточены, прекратилась подача тепла в Якутске и пригородах. Всего в результате аварии без электричества остались около 310 *тыс.* человек [1]. Данный пример наглядно демонстрирует соотношение общих последствий пожара и небольшого масштаба самого пожара.

Минимизация последствий пожаров на подобных объектах является предотвращением более крупных ЧС, а в случае пожаров на атомных электростанциях – масштабных межгосударственных катастроф.

Одним из важнейших аспектов, предотвращающих дальнейшее развитие возникшего пожара, является организация непрерывного тушения пожара с момента начала подачи огнетушащих средств до локализации, что закладывается на стадии планирования действий по тушению возможных пожаров. Разработка **планов тушения пожаров (ПТП)** согласно "Методическим рекомендациям по составлению планов и карточек тушения пожара" (Письмо МЧС России от 27 февраля 2013 г. № 2-4-87-1-18) для критически важных объектов, входящих в соответствующие перечни гарнизонов, предусматривает расчёт необходимых **сил и средств (СиС)** [2].

При этом тушение прогнозируемых пожаров в зданиях и сооружениях необходимо проводить звеньями **газодымозащитной службы (ГДЗС)**, использующими **средства защиты органов дыхания (СИЗОД)** ввиду задымления внутренних объёмов зданий и сооружений [3]. В соответствии с "Правилами проведения личным составом ФПС ГПС аварийно-спасательных работ при тушении пожаров с использованием СИЗОД в непригодной для дыхания среде" (приказ МЧС России от 9 января 2013 г. № 3), нахождение звена ГДЗС в условиях задымления наряду с соблюдением мер безопасности ограничивается **временем защитного действия (ВЗД)** применяемых СИЗОД. При необходимости продолжения работы звено осуществляет восстановление готовности (переснаряжение СИЗОД) и производит повторное включение.

Расчёт СиС при разработке ПТП предполагает построение совмещённого графика, на котором, в зависимости от класса пожара, вида пожарной нагрузки и расположения очага пожара расчётно воспроизводится динамика роста площади пожара $S_{\text{п}}(t)$ (t – время, отсчитываемое от начала пожара) и площади тушения $S_{\text{т}}(t)$ – площади, на которую звенья ГДЗС могут подавать **огнетушащие вещества (ОТВ)**. Кроме того, на совмещённом графике воспроизводится динамика требуемого расхода ОТВ (воды) на тушение

$$Q_{\text{тр}}(t) = S_{\text{п}}(t)I_{\text{отв}} \quad (1)$$

где $I_{\text{отв}}$ – интенсивность подачи ОТВ [6]

и фактический расход на тушение $Q_{\text{ф}}$ в зависимости от моментов времени подачи стволов звеньями ГДЗС.

При этом соотношение

$$Q_{\text{ф}} \geq Q_{\text{тр}} \quad (2)$$

является важнейшим условием **локализации** пожара.

Характерный вид совмещённого графика при последовательном введении стволов звеньями ГДЗС без последующего снижения фактического расхода ОТВ, представлен на рис. 2.

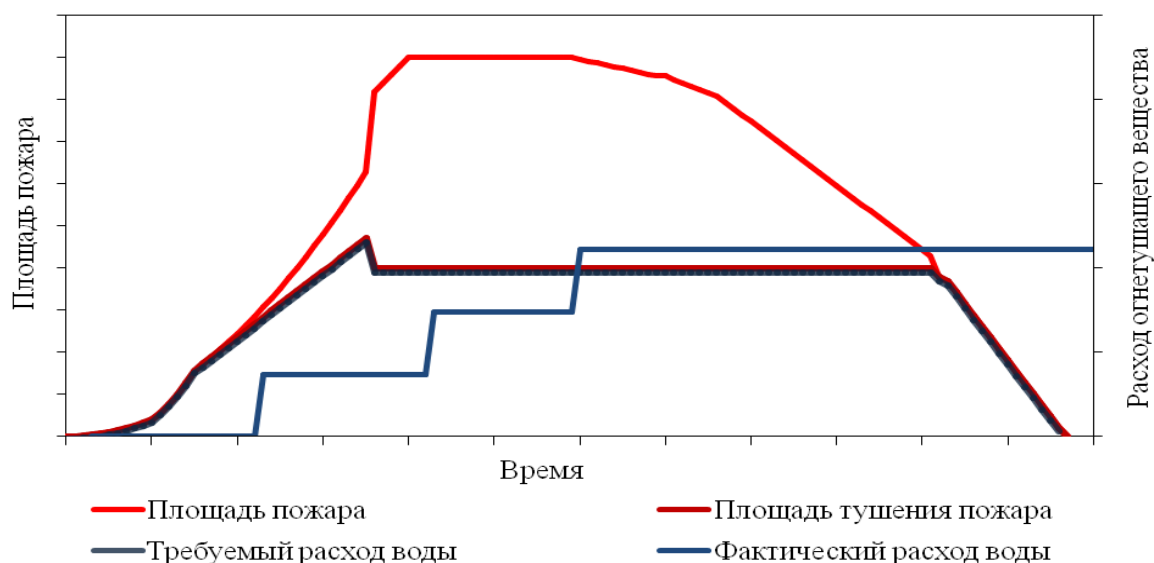


Рис. 2. Совмещённый график непрерывного тушения пожара в задымленном помещении звеньями ГДЗС

Исходя из вида стволов, подаваемых на тушение (для помещений это, как правило, стволы "Б" [2, 4]), и расхода ОТВ $q_{\text{ств}}$ из них, определяется соответствующее число стволов $N_{\text{туш}}$ и, следовательно, число звеньев ГДЗС.

С учётом необходимости организации работ по спасению людей и материальных ценностей, осуществляемых в соответствии с "Порядком тушения пожаров подразделениями пожарной охраны" (приказ МЧС России от 31 марта 2011 г. № 156) и подачи стволов $N_{\text{защ}}$ на защиту, определяется общая численность пожарных $N_{\text{лс}}$, вид и количество привлекаемой пожарной техники, а также **пожарные части (ПЧ)**, из которых личный состав и техника должны прибыть на тушение. В результате устанавливается номер (ранг) прогнозируемого пожара и составляется расписание выездов ПЧ.

Кроме того, при составлении ПТП и расчёте СиС предусматривается оценка достаточности водоснабжения. При использовании сети **наружного противопожарного водопровода (НППВ)**, согласно СП 8.13130.2009 "Источники наружного противопожарного водоснабжения", это определяется условием:

$$Q_{\text{ф}} \geq Q_{\text{таб}}, \quad (3)$$

где $Q_{\text{таб}}$ — водоотдача сети НППВ, которая в зависимости от её типа (тупиковая или кольцевая), диаметров трубопроводов и напора определяется по таблицам [4].

На рис. 3 представлена общая схема расчёта СиС [5].

На практике величины t_1 и t_2 могут оказаться весьма заметными по сравнению с временем t_p , особенно когда ликвидируются пожары в многоэтажных зданиях и зданиях больших строительных объёмов [2].

Построенный стандартным способом совмещённый график (рис. 2) справедлив для случаев, когда ресурс работы t_p СИЗОД звеньев ГДЗС не менее времени локализации или если бы осуществлялась сменность работы звеньев на позиции подачи ОТВ без перерывов подачи ОТВ.

Однако, если ресурс работы t_p ограничен, а смена звеньев ГДЗС на позиции подачи ОТВ не производится, динамика развития и тушения пожара может отличаться в сторону дальнейшего развития пожара от представленной на рис. 2.

Так, звено ГДЗС ввиду израсходования ресурса t_p СИЗОД будет вынуждено покинуть позицию подачи ОТВ, в результате чего условие (2) перестанет выполняться и площадь пожара $S_{п}$ начнёт постепенно возрастать. По мере восстановления работоспособности звена и повторного выхода его на позицию подачи ОТВ, площадь пожара начнёт снижаться, а по мере исчерпания ресурса СИЗОД, опять нарастать.

Такой процесс развития и тушения пожара нельзя считать непрерывным, что в общем виде представлено на совмещённом графике (рис. 4).

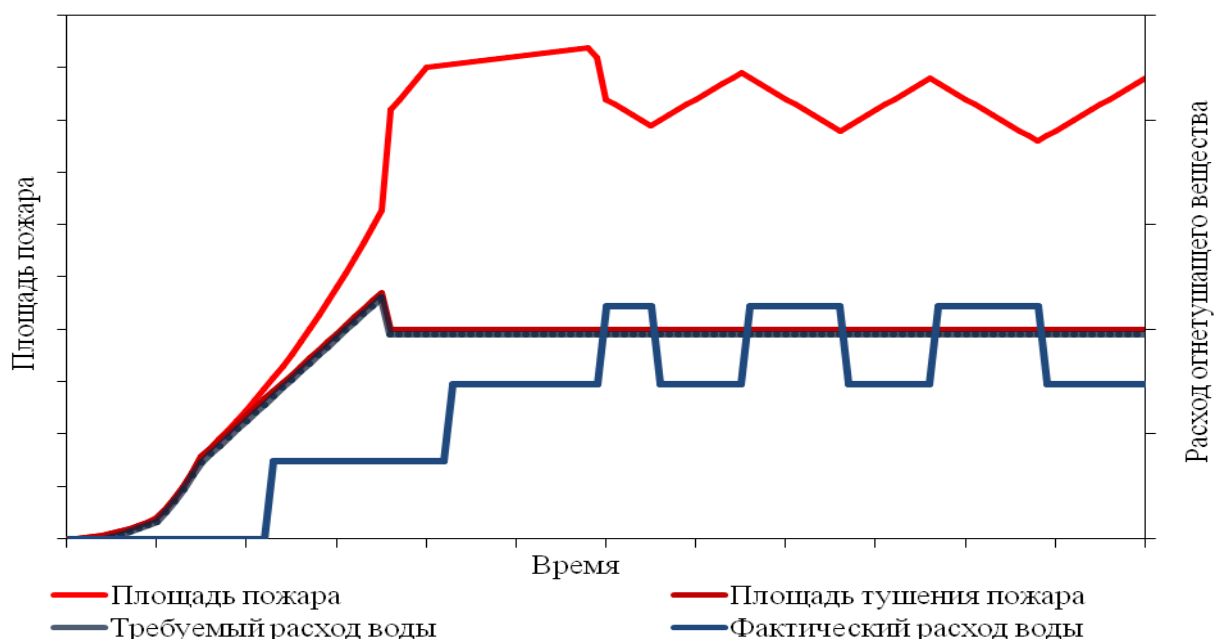


Рис. 4. Совмещённый график тушения пожара тремя звеньями ГДЗС с учётом ресурса работы в СИЗОД (t_p)

Разумеется, данный пример является несколько условным и основывающимся на общепринятых допущениях [2], но он наглядно показывает риск некорректной оценки динамики развития и тушения пожара в непригодной для дыхания среде звеньями ГДЗС без учёта ресурса работы их СИЗОД.

Нетрудно предположить, что отсутствие расчёта времени работы звеньев ГДЗС при разработке ПТП является причиной привлечения недостаточного количества СИЗ и, соответственно, причиной повышенной продолжительности тушения пожаров с сопутствующими последствиями.

В этой связи учёт ограниченной продолжительности работы t_p звеньев ГДЗС, осуществляющих тушение, позволит реализовать один из подходов:

- скорректировать совмещённый график с учётом периодического снижения величины Q_{ϕ} ввиду отхода звеньев ГДЗС с позиций по мере расходования ресурса СИЗОД;

- предусматривать в дополнение к установленному документами резерву сосредоточение такого числа звеньев ГДЗС, которое обеспечит смену работающих звеньев на позиции подачи ОТВ, чтобы величина Q_{ϕ} не снижалась, обеспечивая выполнение условия (2).

Однако следует заметить, что в соответствии с "Правилами проведения личным составом ФПС ГПС аварийно-спасательных работ при тушении пожаров с использованием СИЗОД в непригодной для дыхания среде", смена звеньев ГДЗС должна производиться на свежем воздухе. Данное требование появилось в 2013 г. с изданием указанных "Правил..." и в предыдущих документах, регламентирующих тушение пожаров в непригодной для дыхания среде, не применялось.

В совокупности с требованием не оставлять рукавные линии со стволами на позиции звеньям при каждой смене, придётся выводить ствол на свежий воздух и заново его подавать на позицию, что увеличит трудоёмкость и снизит скорость продвижения звена как на позицию, так и обратно. Эти обстоятельства ещё более увеличат перерывы в подаче ОТВ.

Целесообразность смены звеньев на свежем воздухе можно попытаться обосновать повышением безопасности, хотя явно это не просматривается, при этом налицо негативное влияние на непрерывность подачи ОТВ в условиях непригодной для дыхания среды и исход тушения пожара.

Конечно, в модифицированном совмещённом графике можно учесть и прибытие "свежих" звеньев ГДЗС, которые даже с учётом вынужденных перерывов в подаче ОТВ обеспечат повторение наращивания сил для локализации пожара и его последующей ликвидации. Тем не менее, любое прекращение подачи ОТВ будет приводить к снижению "наступательности" в тушении пожара и, как правило, к его дальнейшему развитию.

Чем больше будут перерывы в подаче ОТВ на каждой позиции подачи ОТВ, тем сильнее может получить развитие пожар. Избежать вынужденных перерывов в подаче ОТВ, связанных с исчерпанием ресурса СИЗОД, можно применением СИЗОД со временем защитного действия превышающим время ликвидации пожара.

Одним из подходов к обоснованию затрат на переоснащение или дооснащение СИЗОД с большим временем защитного действия может явиться формирование представления о необходимости содержания дополнительного числа звеньев ГДЗС, которые следует иметь в расчёте соответствующего пожарно-спасательного гарнизона или своевременно сосредотачивать на месте пожара для обеспечения сменяемости на позиции подачи ОТВ, чтобы, в свою очередь, обеспечить непрерывную подачу ОТВ каждым стволом в условиях непригодной для дыхания среды.

Решение такой задачи представлено ниже.

Задача нахождения минимально достаточного числа звеньев ГДЗС

Процесс работы звена ГДЗС на пожаре можно условно разделить на 4 фазы [3], что представлено на рис. 5.



Рис. 5. Этапы действий звена ГДЗС при работе в условиях задымления

Первая фаза – работа в задымленном помещении (тушение пожара подачей ОТВ, спасение людей и имущества); вторая фаза – выход из зоны задымления по мере израсходования запаса воздуха в *дыхательном аппарате сжатого воздуха (ДАСВ)* или кислорода при использовании *дыхательного аппарата на сжатом кислороде (ДАСК)*; третья фаза – выключение из СИЗОД, восстановление готовности (смена баллонов (патронов) или заполнение воздухом при помощи компрессора), включение в СИЗОД; четвёртая фаза – возвращение на позицию подачи ОТВ для продолжения тушения и смены работающего звена ГДЗС.

Длительность первой фазы t_1 определяется минимальным ресурсом ДАСВ (ДАСК) одного из газодымозащитников в звене с учётом возможности выхода из зоны задымления.

Длительность второй фазы t_2 обуславливается временем выхода из зоны задымления и прибытием к месту восстановления готовности (контрольно-пропускному пункту, пожарному автомобилю, автомобилю-базе ГДЗС, пожарной компрессорной станции).

Длительность третьей фазы t_3 – время замены баллонов или заправки в них воздуха компрессором.

Длительность четвёртой фазы t_4 – время возвращения звена ГДЗС на позицию подачи ОТВ. Следует обратить внимание, что длительности t_2 и t_4 не всегда одинаковы, поскольку в одном случае приходится, например, подниматься на этаж пожара, а в другом случае спускаться вниз. Также в целях сохранения достаточного ресурса СИЗОД на обратный путь предусматривается определённый резерв.

Сумма времён $t_1 + t_2 + t_3 + t_4$ является длительностью цикла $t_{\text{ц}}$ работы звена ГДЗС. Минимально необходимое число звеньев ГДЗС для обеспечения непрерывной работы на позициях подачи ОТВ можно оценить из выражения:

$$n = 1 + \text{Ц}\left(\frac{t_{\text{ц}}}{t_1}\right) = 2 + \text{Ц}\left(\frac{t_2 + t_3 + t_4}{t_1}\right), \quad (5)$$

где $\text{Ц}(x)$ – целая часть числа x (например, $\text{Ц}(2,3) = 2$, $\text{Ц}(3,8) = 3$ и т.п.).

Пример 1. Предположим, имеются следующие длительности фаз: $t_1 = 30$ мин., $t_2 = 5$ мин., $t_3 = 20$ мин., $t_4 = 10$ мин. Тогда $t_{\text{ц}} = 65$ мин. Из выражения (5) получаем:

$$n = 1 + \text{Ц}\left(\frac{65}{30}\right) = 2 + \text{Ц}\left(\frac{5 + 20 + 10}{30}\right) = 2 + \text{Ц}(1,67) = 2 + 1 = 3.$$

Таким образом, для обеспечения непрерывной работы данной позиции подачи ОТВ необходимо 3 звена ГДЗС.

Нетрудно понять, что в действительности времена t_1 - t_4 являются недетерминированными величинами. Время работы t_1 зависит от многих факторов – интенсивности действий пожарного, его веса и др.

Времена t_2 и t_4 зависят от расстояния до пункта восстановления готовности, от этажности расположения позиции подачи ОТВ.

Время t_3 обуславливается техническими возможностями заправки баллонов и необходимостью обслуживания звеньев, прибывающих с других участков тушения пожара, и отдыха газодымозащитников.

Учесть всё это при определении величины n представляется возможным двумя способами – использованием интервального анализа [6, 7] и методами теории вероятностей и математической статистики [7, 8].

Определение числа звеньев ГДЗС посредством интервального анализа

Идеей алгебраических действий [9] (суммирование, вычитание, умножение, деление и др.) с интервальными величинами $[x] = [x^{\min}, x^{\max}]$ является то, что в результате каждого действия также получается интервальная величина $[y] = f([x_1], [x_2] \dots)$, границы которой определяются из выражения [9]:

$$\begin{pmatrix} y^{\max} \\ y^{\min} \end{pmatrix} = \alpha_1 \pm \sqrt{3(\alpha_2 - \alpha_1^2)}, \quad (6)$$

где α_1 и α_2 – начальные моменты.

Для различных алгебраических действий над парой интервальных величин значения α_1 и α_2 определяются из табл. 1.

Таблица 1

**Начальные моменты для определения границ
результатирующих интервальных величин при попарных действиях
над исходными интервальными величинами $[x_i]$ и $[x_j]$**

Действие	α_1, α_2
Сложение, вычитание $[y] = [x_i] \pm [x_j]$	$\alpha_1 = \frac{(x_i^{\min} + x_i^{\max}) \pm (x_j^{\min} + x_j^{\max})}{2};$ $\alpha_2 = \pm \frac{(x_i^{\min} + x_i^{\max})(x_j^{\min} + x_j^{\max})}{2} + \frac{(x_i^{\min} + x_i^{\max})^2 - x_i^{\min} x_i^{\max} + (x_j^{\min} + x_j^{\max})^2 - x_j^{\min} x_j^{\max}}{3}$
Умножение $[y] = [x_i] \cdot [x_j]$	$\alpha_1 = \frac{(x_i^{\min} + x_i^{\max})(x_j^{\min} + x_j^{\max})}{4};$ $\alpha_2 = \frac{[(x_i^{\min} + x_i^{\max})^2 - x_i^{\min} x_i^{\max}][(x_j^{\min} + x_j^{\max})^2 - x_j^{\min} x_j^{\max}]}{9}$
Деление $[y] = \frac{[x_i]}{[x_j]}$	$\alpha_1 = \frac{x_i^{\min} + x_i^{\max}}{2(x_j^{\min} + x_j^{\max})} \ln \frac{x_j^{\max}}{x_j^{\min}};$ $\alpha_2 = \frac{(x_i^{\min} + x_i^{\max})^2 - x_i^{\min} x_i^{\max}}{3x_j^{\min} x_j^{\max}}$

По аналогии с выражением (5) необходимое число звеньев ГДЗС получаем из выражения:

$$n = 2 + C(y^{\max}), \quad (7)$$

где $y^{\max}$ – правая граница интервальной величины $[y] = ([t_2] + [t_3] + [t_4])/[t_1]$.

Пример 2. Предположим, что времена $t_1 \div t_4$ являются интервальными величинами: $[t_1] = [25; 35]$ мин., $[t_2] = [4; 6]$ мин., $[t_3] = [18; 22]$ мин., $[t_4] = [8; 12]$ мин. Используя выражение (6) и табл. 1, находим величину $[y]$:

$$\begin{aligned}
 [y] &= \frac{[4; 6] + [18; 22] + [8; 12]}{[25; 35]} = \frac{[22,8; 27,2] + [8; 12]}{[25; 35]} = \\
 &= \frac{[4; 6] + [27,2; 32,8]}{[15; 35]} = \frac{[32,0; 38,0]}{[25; 35]} = [0,955; 1,40].
 \end{aligned}$$

Из выражения (7) находим: $n = 2 + C(1,40) = 2 + 1 = 3$. Таким образом, для непрерывной работы на позиции подачи ОТВ потребуется 3 звена ГДЗС.

Определение числа звеньев ГДЗС методами теории вероятностей

Если же полагать, что времена t_1 - t_4 являются случайными величинами и известны плотности их распределения $\varphi_1(t_1)$, $\varphi_2(t_2)$, $\varphi_3(t_3)$ и $\varphi_4(t_4)$, то плотность распределения $\varphi(y)$ случайной величины y , являющейся дробью $y = (t_2 + t_3 + t_4)/t_1$, может быть найдена двумя способами:

- путём действий над случайными величинами [7] – в данном случае это композиция (сложение) и деление;

- с использованием имитационного моделирования [8].

При известной плотности $\varphi(y)$ по аналогии с (5) и (7) число звеньев ГДЗС n находим из выражения:

$$n = 2 + I(y_\beta). \quad (8)$$

Величину y_β определяем из выражения:

$$\int_0^{y_\beta} \varphi(y) dy = \beta, \quad (9)$$

где β – доверительная вероятность нахождения числа n .

Если предположить, что время каждой фазы подчинено экспоненциальному закону [3] с плотностью распределения

$$\varphi_i(t_i) = \lambda_i \exp(-\lambda_i t_i), \quad i \in [1; 4] \quad (10)$$

($\lambda_i = t_{ci}^{-1}$ – параметр экспоненциального закона, обратно пропорциональный средней продолжительности процесса t_{ci}), согласно [10], плотность распределения $\varphi_c(t_c)$ суммарного времени $t_c = t_2 + t_3 + t_4$ описывается выражением:

$$\varphi_c(t_c) = C_2 e^{-\lambda_2 t_c} + C_3 e^{-\lambda_3 t_c} + C_4 e^{-\lambda_4 t_c}, \quad (11)$$

$$\text{где } C_2 = \frac{\lambda_2 \lambda_3 \lambda_4}{(\lambda_3 - \lambda_2)(\lambda_4 - \lambda_2)}; \quad C_3 = \frac{\lambda_2 \lambda_3 \lambda_4}{(\lambda_2 - \lambda_3)(\lambda_4 - \lambda_3)}; \quad C_4 = \frac{\lambda_2 \lambda_3 \lambda_4}{(\lambda_2 - \lambda_4)(\lambda_3 - \lambda_4)}.$$

Плотность распределения $\varphi(y)$ дроби экспоненциально распределённых случайных величин $y = t_c/t_1$, согласно [9, табл. 3.7], имеет вид:

$$\varphi(y) = \lambda_1 \left[\frac{C_2}{(\lambda_2 y + \lambda_1)^2} + \frac{C_3}{(\lambda_3 y + \lambda_1)^2} + \frac{C_4}{(\lambda_4 y + \lambda_1)^2} \right]. \quad (12)$$

С учётом плотности распределения (12) выражение (9) преобразуется к явному виду:

$$y_\beta \left[\frac{C_2}{\lambda_2 y_\beta + \lambda_1} + \frac{C_3}{\lambda_3 y_\beta + \lambda_1} + \frac{C_4}{\lambda_4 y_\beta + \lambda_1} \right] = \beta, \quad (13)$$

откуда искомая величина y_β находится из решения кубического уравнения:

$$x^3 + ax^2 + bx + c = 0, \quad (14)$$

где $x = \lambda_1/y_\beta$,

$$a = \lambda_2 + \lambda_3 + \lambda_4 - (C_2 + C_3 + C_4)/\beta;$$

$$b = \lambda_2 \lambda_3 + \lambda_2 \lambda_4 + \lambda_3 \lambda_4 - [C_2(\lambda_3 + \lambda_4) + C_3(\lambda_2 + \lambda_4) + C_4(\lambda_2 + \lambda_3)]/\beta;$$

$$c = \lambda_2 \lambda_3 \lambda_4 - (C_2 \lambda_3 \lambda_4 + C_3 \lambda_2 \lambda_4 + C_4 \lambda_2 \lambda_3)/\beta.$$

Пример 3. Предположим, что времена t_1 - t_4 распределены по экспоненциальному закону (10), а средние продолжительности фаз равны $t_{c1} = 30$ мин., $t_{c2} = 5$ мин., $t_{c3} = 20$ мин., $t_{c4} = 10$ мин. Тогда $\lambda_1 = 0,03(3)$ мин.⁻¹; $\lambda_2 = 0,20$ мин.⁻¹; $\lambda_3 = 0,05$ мин.⁻¹; $\lambda_4 = 0,10$ мин.⁻¹.

Затем находим:

$$C_2 = \frac{0,20 \cdot 0,05 \cdot 0,10}{(0,05 - 0,20)(0,10 - 0,20)} = 0,06(6);$$

$$C_3 = \frac{0,20 \cdot 0,05 \cdot 0,10}{(0,20 - 0,05)(0,10 - 0,05)} = 0,13(3);$$

$$C_4 = \frac{0,20 \cdot 0,05 \cdot 0,10}{(0,20 - 0,10)(0,05 - 0,10)} = -0,20.$$

С учётом вычисленных величин коэффициенты кубического уравнения (10) равны:

$$\begin{aligned} a &= 0,20 + 0,05 + 0,10 - [0,06(6) + 0,13(3) - 0,20]/\beta = 0,35; \\ b &= 0,20 \cdot 0,05 + 0,20 \cdot 0,10 + 0,05 \cdot 0,10 - [0,06(6) \cdot (0,05 + 0,10) + \\ &\quad + 0,13(3) \cdot (0,20 + 0,10) - 0,20 \cdot (0,20 - 0,05)]/\beta = 0,035; \\ c &= 0,20 \cdot 0,05 \cdot 0,10 - [0,06(6) \cdot 0,05 \cdot 0,10 + 0,13(3) \cdot 0,20 \cdot 0,10 - \\ &\quad - 0,20 \cdot 0,20 \cdot 0,05]/\beta = 10^{-3}(1 - \beta^{-1}), \end{aligned}$$

а само уравнение (14) принимает вид:

$$1000x^3 + 350x^2 + 35x + 1 = \beta^{-1}. \quad (15)$$

Например, при $\beta = 0,5$ из решения кубического уравнения (15) получаем $x = 0,023$ и $y_\beta = 1,445$. В итоге из выражения (8) находим необходимое число звеньев ГДЗС:

$$n = 2 + \mathcal{I}(1,445) = 3.$$

Следует заметить, что при бóльших значениях β возрастает и величина n .

Расчёты, проведённые с применением различных математических подходов, привели к схожему результату, что подтверждает его приемлемую достоверность.

Выводы

Показана возможность определения числа звеньев ГДЗС, обеспечивающих непрерывность подачи ОТВ, на основе информации о времени защитного действия СИЗОД, времени выхода из зоны задымления, времени движения на позицию подачи ОТВ, восстановления ресурса СИЗОД, отдыха и возвращения на позицию подачи ОТВ. Показано, что решение данной задачи возможно с использованием интервального анализа и теории вероятностей.

Данный подход применим и к другим задачам пожарной тактики, например, для расчёта необходимых СиС при разработке планов тушения пожаров на критически важных объектах.

Наглядно показано, что при разработке ПТП для объектов, где при пожаре ожидается задымление, требующее привлечение звеньев ГДЗС, при построении совмещённых графиков необходимо учитывать ограниченное время работы звеньев ГДЗС с использованием СИЗОД в непригодной для дыхания среде. Это позволит с большей объективностью оценивать ход тушения возможного пожара и обосновывать привлечение дополнительных СиС – звеньев ГДЗС и задействуемых ПЧ с целью обеспечения непрерывной подачи требуемого расхода ОТВ, либо оснащения подразделений пожарной охраны СИЗОД со временем защитного действия, сравнимым со временем ликвидации пожара.

Порядок построения совмещённых графиков с учётом ограниченного ресурса работы в СИЗОД представляется целесообразным включить в новые редакции учебников по подготовке газодымозащитника, пожарной тактике и соответствующие методические документы.

Литература

1. Две электростанции в Якутии отключены после пожара на ГРЭС // Известия. <https://iz.ru/652803/2017-10-01/dve-elektrostantsii-v-iakutii-otkliucheny-posle-pozhara-na-gres>.
2. Решетов А.П., Башаричев А.В., Ключ В.В. Пожарная тактика: учебное пособие / СПб.: СПб УГПС МЧС России, 2011. 324 с.
3. Сверчков Ю.М. Коршунов И.В. Андреев Д.В. Организация газодымозащитной службы на пожарах: учебное пособие. М.: Академия ГПС МЧС России, 2014.
4. Терёбнёв В.В. Справочник руководителя тушения пожара. М.: Пожкнига, 2004. 256 с.
5. Дорожкин А.С., Потапенко В.В., Таранцев А.А. О взаимосвязи в нормативных документах в части обеспечения пожарной безопасности зданий и сооружений // Проблемы управления рисками в техносфере. № 4 (40). 2016. С. 29-34.
6. Прикладной интервальный анализ / Жолен Л., Кифер М., Дидри О., Вальтер Э. М.-Ижевск. Институт компьютерных исследований, 2005. 468 с.
7. Таранцев А.А. Случайные величины и работа с ними: учебное пособие. СПб.: изд. дом "Петрополис", 2011. 160 с.
8. Вентцель Е.С. Теория вероятностей. М.: Высшая школа, 1998.
9. Таранцев А.А. О связи интервального анализа с теорией вероятностей // Заводская лаборатория. № 3. Т. 79. 2004.
10. Нодь А.П., Таранцев А.А. О суммировании случайных величин (на примере оценки движения мобильных объектов) // Проблемы безопасности и ЧС. № 4. 2015. С. 112-120.

ABOUT ENSURING CONTINUOUS FIRE EXTINGUISHING AT CRITICALLY IMPORTANT OBJECTS IN CONDITIONS OF SMOKE-SCREENING

The procedure of the refined assessment of the necessary forces and means for fire-fighting in smoke-filled premises of critically important objects, based on a plotting of a combined graph, taking into account the limited time of operation of the units of the gas and smoke protection service (GSPS) are analyzed. The task of determining the required number of units for the GSPS from the condition of ensuring continuous operation (extinguishing, rescue) under smoke-screening is considered. Using the example of comparing combined graphs plotted without and with taking into account the limited time of operation of the GSPS units, the probability of incorrect estimation of the development dynamics and extinguishing the fire in the first case is clearly shown.

The possibility of solving this problem in a deterministic version is shown, also with using interval analysis methods and actions with random variables. Examples are given, conclusions on the need to adjust the calculation of the involved GSPS units for extinguishing fires at large facilities in smoke conditions are made.

Key words: calculation of forces and means, gas and smoke protection service units, fire extinguishing plan, combined schedule, interval analysis, stochastic variables.

References

1. Dve elektrostantsii v Iakutii otkliucheny posle pozhara na GRES (The two power plants in Yakutia is disabled after a fire) // Izvestiia. <https://iz.ru/652803/2017-10-01/dve-elektrostantsii-v-iakutii-otkliucheny-posle-pozhara-na-gres>. (in Russ.).
2. Reshetov A.P., Basharichev A.V., Kliui V.V. Pozharnaia taktika: uchebnoe posobie (Firefighting tactics: tutorial) / SPb.: SPb UGPS MChS Rossii, 2011. 324 p. (in Russ.).
3. Sverchkov Iu.M. Korshunov I.V. Andreev D.V. Organizatsiia gazodymozashchitnoi sluzhby na pozharakh: uchebnoe posobie (Organization of gas and smoke protective service on fire: tutorial). M.: Akademiia GPS MChS Rossii, 2014. (in Russ.).
4. Terebnev V.V. Spravochnik rukovoditelia tusheniia pozhara (Handbook of the head of the fire fighting). M.: Pozhkniga, 2004. 256 p. (in Russ.).
5. Dorozhkin A.S., Potapenko V.V., Tarantsev A.A. O vzaimosviasi v normativnykh dokumentakh v chasti obespecheniia pozharnoi bezopasnosti zdani i sooruzhenii (On the relationship in regulatory documents in terms of fire safety of buildings and structures) // Problemy upravleniia riskami v tekhnosfere. No 4 (40). 2016. Pp. 29-34. (in Russ.).
6. Prikladnoi intervalnyi analiz (Applied interval analysis) / Zholen L., Kifer M., Didri O., Valter E. M.-Izhevsk. Institut kompiuternykh issledovani, 2005. 468 p. (in Russ.).
7. Tarantsev A.A. Sluchainye velichiny i rabota s nimi: uchebnoe posobie (Random variables and work with them: tutorial). SPb.: izd. dom "Petropolis", 2011. 160 p. (in Russ.).
8. Venttsel E.S. Teoriia veroiatnostei (Probability theory). M.: Vysshaia shkola, 1998. (in Russ.).
9. Tarantsev A.A. O sviazi intervalnogo analiza s teoriei veroiatnostei (About the relationship of interval analysis with probability theory) // Zavodskaiia laboratorii. No 3. T. 79. 2004. (in Russ.).
10. Nod A.P., Tarantsev A.A. O summirovanii sluchainykh velichin (na primere otsenki dvizheniia mobilnykh obiektov) (On the summation of random variables (for example, the motion estimation of mobile objects)) // Problemy bezopasnosti i ChS. No 4. 2015. Pp. 112-120. (in Russ.).