

ИДЕНТИФИКАЦИЯ ГРАНИЧНЫХ УСЛОВИЙ В ДЕЙСТВИЯХ ПОЖАРНО-СПАСАТЕЛЬНЫХ ПОДРАЗДЕЛЕНИЙ ПО ТУШЕНИЮ ПОЖАРОВ В ПОДЗЕМНЫХ СООРУЖЕНИЯХ

IDENTIFICATION OF BOUNDARY CONDITIONS IN THE ACTIONS OF FIRE AND RESCUE SUB-DIVISIONS TO EXTINGUISH FIRES IN UNDERGROUND STRUCTURES

P. Korolev

Summary. A comprehensive analysis of the conditions and parameters of firefighting control in underground structures, the organization of interaction and communication during the management of fire and rescue units, an analysis of statistical information and parameters of fire hazard of underground structures and parameters of fire in underground structures was carried out. Based on the results of the analysis, the boundary conditions were identified when making decisions by the fire-extinguishing manager when conducting hostilities to extinguish a fire at underground facilities. Consideration of the quantitative and qualitative parameters of the current situation, and the results of the comprehensive analysis carried out within the framework of this study, made it possible to form an approach to the analysis of boundary conditions and the development of management alternatives based on the analysis of the situation carried out by the fire-extinguishing manager. The use of boundary conditions when extinguishing fires in underground structures during the analysis of the situation will expand the set of management alternatives aimed at increasing the efficiency of decisions made and the safety of fire extinguishing participants. This work is intended for persons who make managerial decisions and manage forces and means when extinguishing fires in underground structures. The results of the study will be used to develop a model and algorithm for solving control problems when extinguishing fires in underground formations.

Keywords: fire, fire-extinguishing management, manager, decision for control dachas, fire and rescue units, underground structures, subways.

Королев Павел Сергеевич

Адъюнкт

Академия государственной противопожарной

службы МЧС России

Москва

pavelpavel2415@mail.ru

Аннотация. Проведен комплексный анализ условий и параметров управления пожаротушением в подземных сооружениях, организации взаимодействия и связи при управлении пожарно-спасательными подразделениями, анализ статистических сведений и параметров пожарной опасности подземных сооружений и параметров пожара в подземных сооружениях. По результатам анализа проведена идентификация граничных условий при принятии решений руководителем тушения пожара при ведении боевых действий по тушению пожара на подземных объектах. Рассмотрение количественных и качественных параметров сложившейся обстановки, и результатов комплексного анализа, проведенного в рамках данного исследования, позволило сформировать подход к анализу граничных условий и выработки управленческих альтернатив на основе проводимого руководителем тушения пожара анализа обстановки. Использование граничных условий при осуществлении управленческой деятельности руководителем тушения пожара на пожаре, при проведении анализа обстановки, позволит расширить набор управленческих альтернатив, направленных на повышение эффективности принимаемых решений и безопасность участников тушения пожара. Данная работа предназначена для лиц, принимающих управленческие решения и осуществляющих управление подразделениями и организацией взаимодействия со службами эксплуатации рассматриваемых сооружений и города при тушении пожаров в подземных сооружениях. Результаты исследования будут использоваться для разработки модели и алгоритма решения задач управления пожарно-спасательными подразделениями при ведении боевых действий по тушению пожаров в подземных сооружениях.

Ключевые слова: пожар, управление тушением пожара, руководитель, решение задач управления, пожарно-спасательные подразделения, подземные сооружения, метрополитены.

Введение

Принятие решений руководителем тушения пожара (далее — РТП), решение задач управления силами и средствами на пожаре является ответственным и напряженным видом деятельности в сложных (граничных) условиях, для которого необходим набор знаний, умений и навыков.

Исходя из анализа [1], наблюдается тенденция концентрации финансового капитала и повышение уровня потребления в крупных городах и урбанистических системах (систем взаимосвязанных городских поселений). Результатами роста экономической роли крупных городских поселений являются рост населения городов и колоссальное повышение стоимости земельных участков в городах, особенно в их центрах [2, с. 209], ко-

торые приводят к развитию транспортной инфраструктуры и увеличение количества таких сложных структур, как подземные сооружения. Соответственно необходимо создавать условия выполнения требований пожарной безопасности для рассматриваемых объектов, в числе прочего и в части, касающейся тушения пожаров и проведения аварийно-спасательных работ.

Так, в Российской Федерации определены правовые, экономические и социальные основы и требования обеспечения пожарной безопасности [3], регулирующие отношения между органами государственной власти, органами местного самоуправления, общественными объединениями, юридическими лицами, должностными лицами, гражданами (физическими лицами), в том числе индивидуальными предпринимателями.

Актуальность исследуемого вопроса заключается в необходимости идентификации граничных условий и применении метода оценки опасности при тушении пожаров на данных объектах. Задача и цель состоят в идентификации и анализе опасностей, которые могут присутствовать во время тушения пожара и выборе необходимых альтернатив и применяемых мер для разработки оперативных мероприятий, направленных на обеспечение безопасности [4] при ведении действий пожарно-спасательными подразделениями на пожаре в подземных сооружениях.

В соответствии [5] при организации тушения пожаров с использованием средств индивидуальной защиты органов дыхания и зрения (далее — СИЗОД) в сложных условиях [6] (к которым относятся рассматриваемые объекты подземных сооружений) организуется наличие и работа повышенного количества сил и средств (организация разведки пожара с направлением для её проведения не менее двух звеньев газодымозащитной службы (далее — ГДЗС), создание поста безопасности (далее — ПБ), резервных звеньев ГДЗС эффективность и безопасность работы которых напрямую зависит от принятых РТП решений).

Представленный анализ (подход), с учетом специфики вида деятельности, позволит идентифицировать и выстроить образ ситуации, с принятием оптимального решения [7] адекватно текущим событиям. Таким образом, применение алгоритмов принятия решений в граничных условиях, позволит уравнивать альтернативы выбора для оптимального решения по тушению пожаров в крупных городах. Тушение пожаров в данной организационной системе позволит реализовать успешное достижение основной боевой задачи пожарно-спасательных подразделений [8] при тушении сложных пожаров [9].

КОМПЛЕКСНЫЙ АНАЛИЗ

Комплексный анализ условий и параметров управления пожаротушением в подземных сооружениях, анализ статистических сведений и параметров пожарной опасности подземных сооружений предлагается рассмотреть на подземных сооружениях метрополитенов, как объединяющих в себе наибольшее количество типов подземных сооружений [10, с. 6–10].

Аналитический обзор данных об авариях и пожарах в железнодорожных (далее — ЖД) тоннелях и тоннелях метрополитенов, демонстрирует, что 49% всех аварий и инцидентов сопряжено с пожарами. Пожары занимают 45% от всего числа аварий, 27% — аварийное столкновение поездов, 9% рассматриваемых событий сопряжено с выходом из строя оборудования, 3% — столкновения с последующей реализацией сценария возникновения и развития пожара, 3% — аварии со взрывами, 1% — аварии, сопровождаемые возгоранием без дальнейшего распространения горения [11–13].

Анализ периода с 2007 по 2017 годы, акцентирует внимание на местах возникновения пожаров в транспортных подземных сооружениях. Такими явились: в 52% случаях — подземные сооружения и сопутствующее оборудование, в 48% — непосредственно подвижные составы.

Исходя из проведенного комплексного анализа данных об авариях выявлено, что большая часть пожаров происходит непосредственно в подземных помещениях: порядка 59% пожаров случаются в тоннелях, служебных и технических помещениях подземных сооружений. Пожары в тоннелях, характеризуются быстрым развитием критических значений опасных факторов пожара [14]. При этом осложняется спасение людей из тоннелей и движение звеньев ГДЗС в непригодной для дыхания среде (далее — НДС) [15, 16]. Также невозможно оперативное снятие напряжения вследствие особенностей эксплуатации электроустановок метрополитена и энергосистемы города. Сравнительно скоро может быть прекращена подача питания на контактный рельс (2–3 мин) [17].

В результате проведения крупномасштабного огневого эксперимента в тоннеле с вагонами типа «Х1» были получены термодинамические характеристики пожара, возникающего в тоннелях метрополитена [18]. Согласно проведенному комплексному анализу, предел огнестойкости конструкций [19] в случае может привести к изменению прочностных характеристик туннелей (Рис. 1), что является граничным условием.

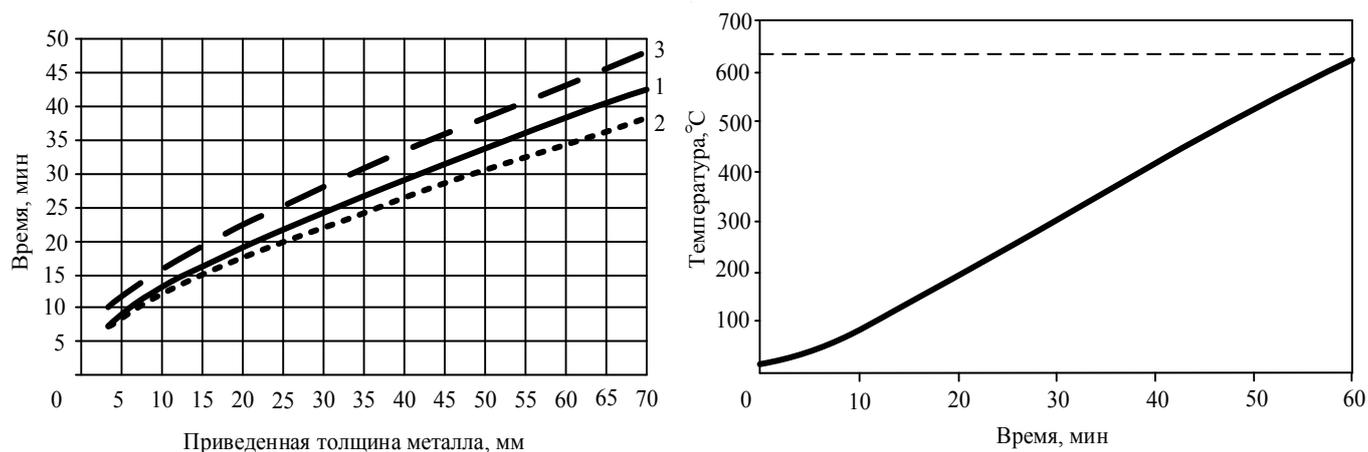


Рис. 1. Зависимость времени достижения критической температуры от приведенной толщины металла конструкции, где 1 — сталь при 500 °С, 2 — чугун при 500 °С, 3 — чугун при 636 °С и средней температуры тубинга от времени воздействия стандартного теплового режима пожара.

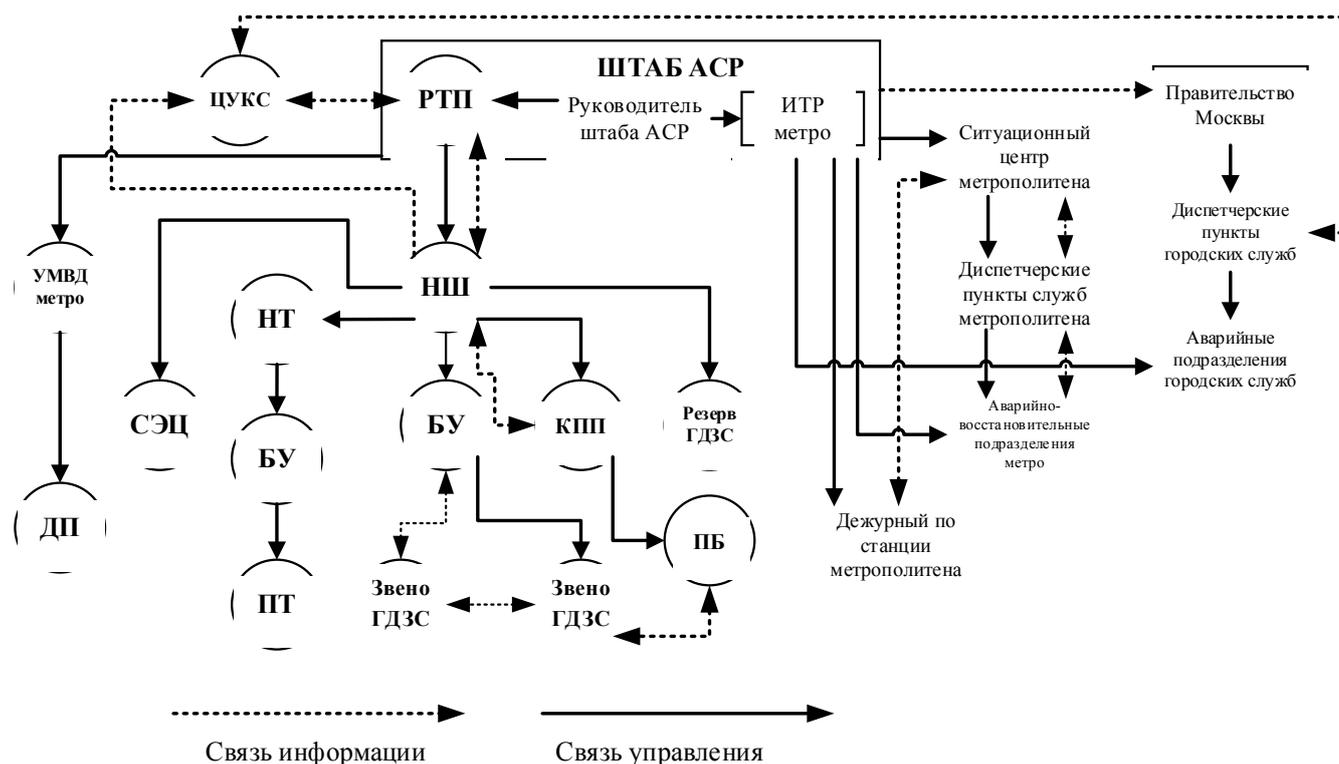


Рис. 2. Схема организации управления силами и средствами при тушении пожара с формированием штаба АСР, где НШ — начальник штаба пожаротушения, НТ — начальник тыла на пожаре, ИТР — инженерно-технические работники, БУ — боевые участки, КПП — контрольно-пропускной пункт ГДЗС, ПТ — пожарная техника и вооружение, ДП — дежурный полицейский, ЦУКС — центр управления в кризисных ситуациях МЧС России, АСР — аварийно-спасательные работы, СЭЦ — судебно-экспертный центр МЧС России.

На сегодняшний день, в современную структуру пожаротушения внедряются передовые технологии управления пожарно-спасательными подразделениями, в том числе и управление безопасностью участников тушения пожара [20]. Так, согласно исследованиям [21, 22], при тушении пожаров с использованием СИЗОД в сложных условиях, применимы вероятностные подходы, базирующиеся на теории принятия решений в условиях неопределенности и риска. Поэтому для организации качественного управления безопасными действиями газодымозащитников предложено осуществление постоянного мониторинга [23].

В работе [24] предложено получать плановые параметры безопасности работы звеньев ГДЗС, сравнивать с реальными значениями, полученными посредством мониторинга, что позволит лицу, принимавшему решение перебирать альтернативы в соответствии с заданными граничными условиями.

В работе [25] представлена модель постановки задачи информационной поддержки оперативных групп пожарно-спасательных гарнизонов при выполнении боевых задач на основе поиска обратных связей, что позволяет выработать рекомендации к разработке и применению документов предварительного планирования действий по тушению пожаров.

Выявленные аспекты подготовки газодымозащитников, в работах [26–28], позволяют принимать во внимание первоочередные навыки, необходимые для работы в НДС, в том числе и в граничных условиях. Уровень подготовки газодымозащитников и способности выполнять работу в экстремальных условиях, а также уровень подготовки к организации взаимодействия между пожарно-спасательными подразделениями и службами эксплуатации и города — являются граничными условиями.

Представим схему управления пожарными подразделениями (при проведении работ по тушению пожара с созданием штаба аварийно-спасательных работ (далее — АСР) (рис. 2).

Сооружения Московского метрополитена позволяют рассмотреть существующую структуру организации управления силами и средствами и обеспечения взаимодействия привлекаемых подразделений пожарно-спасательного гарнизона. При формировании штаба АСР, РТП является его членом и отвечает за спасение людей, тушение пожара и проведение специальных работ. Руководитель метрополитена или его заместитель руководит АСР [29]. В работе штаба АСР, также участвуют: начальник ведомственных пожарных подразделений, который является помощником начальника штаба

АСР, инженерно-технический персонал метрополитена, руководители подразделений аварийных служб города. Управление силами и средствами территориальных пожарно-спасательных формирований города Москвы осуществляет РТП [30]. Штаб АСР является руководящей единицей для всех формирований, участвующих в аварийно-спасательных работах и тушении пожар, так в систему организации управления пожарными подразделениями добавляются дополнительные переменные (обмен информацией, взаимодействие и управление подразделениями), создающие граничные условия, за счет сложности самой системы.

Временные показатели взаимодействия РТП, пожарных подразделений, дежурных служб города и эксплуатирующих организаций являются группой граничных условий, создающих внешнюю среду и определяющие количественные и качественные параметры сложившейся обстановки.

Результаты комплексного анализа и их представление

Исходя из проведенного комплексного анализа условий, процесс выработки решения на пожаре реализуется управленческими альтернативами при тушении пожара в подземных сооружениях метрополитенов (и иных подземных сооружениях) и обусловливается граничными условиями. Данные граничные условия оказывают влияние на деятельность РТП, создавая определенную, уникально складывающуюся внешнюю среду на пожаре.

Для комплексного анализа обстановки и выбора альтернатив при управлении пожарными подразделениями РТП определим ряд граничных условий группой постоянных и переменных параметров.

1. Группой постоянных параметров, определяемых:

- 1.1. Характеристиками сооружений и помещений, где возник и распространился пожар.
- 1.2. Конструктивными особенностями подземных сооружений.
- 1.3. Параметрами вентиляционных систем.
- 1.4. Характеристиками горючей нагрузки.
- 1.5. Параметрами пожарной автоматики, их наличием, отсутствием.
- 1.6. Характеристиками пожарно-спасательного гарнизона.
- 1.7. Оснащенностью пожарно-спасательных подразделений.
- 1.8. Другими постоянными параметрами.

2. Группой переменных параметров, определяемых:

- 2.1. Местом возникновения пожара.

- 2.2. Сложившейся обстановкой на пожаре (условия причины пожара).
- 2.3. Наличием дополнительной аварийной ситуации (столкновение поездов, сход с рельс, поломки и т.д.).
- 2.4. Характеристиками воздушных потоков в тоннелях.
- 2.5. Температурой в зоне пожара и мощностью тепловых потоков.
- 2.6. Изменением прочностных характеристик тубингов тоннеля.
- 2.7. Состоянием пожарной автоматики.
- 2.8. Площадью пожара и временем его свободного развития.
- 2.9. Количеством работающих звеньев ГДЗС.
- 2.10. Наличием пострадавших.
- 2.11. Типом СИЗОД.
- 2.12. Параметрами работы газодымозащитников в СИЗОД (и средства мониторинга их работы).
- 2.13. Качеством установленной связи на пожаре.
- 2.14. Уровнем подготовки персонала и прибывших подразделений пожарной охраны.
- 2.15. Качеством и слаженностью взаимодействия с дежурными службами города и эксплуатирующими организациями.
- 2.16. Типом, количеством и состоянием прибывшей к месту пожара техники.
- 2.17. Соответствием сведений в документах предварительного планирования.
- 2.18. Уровнем подготовки РТП.
- 2.19. Другими возникающими переменными параметрами.

Для идентификации и оценки дальнейших граничных условий пожаротушения РТП требуется наличие полной картины сложившейся текущей ситуации, в таком случае РТП сможет оценить требуемые ресурсы привлекаемых сил и средств и параметры локализации пожара [31]. Идентификацию предлагается осуществлять при помощи моделей, основанных на теории конечных цепей Маркова [32], где реализация каждого последующего события обусловлено состоянием, достигнутым в предыдущем событии, характеризующем свойством при фиксированном настоящем состоянии [33, 34].

Формализация подхода

Рассмотрим данный подход для анализа граничных условий при пожаре в подземных сооружениях. Реализация альтернатив выбора управленческого решения напрямую зависит от сложившихся граничных условий при пожаре в подземных сооружениях. Представим сценарий, как функцию некоторой системы S , системы случайных переходов из состояния в состояние [35].

Данная случайная функция будет являться случайным процессом реализации набора вариантов возможных граничных условий при пожарах в подземных сооружениях по времени t . Если мы зафиксируем время от начала пожара $t=t_0$, то случайное состояние системы становится некоторой случайной величиной — одним из возможных сценариев развития пожара в подземных сооружениях, который может реализоваться в момент времени t_0 .

Рассмотрим случайный процесс $X(t)$ реализации граничных условий при пожаре в подземных сооружениях — значение которого является случайной величиной при любом значении аргумента t . $X(t)$ является функцией двух аргументов: некоего события q и времени t .

$$X(t) = p(t, q), q \in M, t \in T, X(t) \in I,$$

где q — рассматриваемое событие, M — область данных событий, T — область возможных значений t функции $X(t)$, I — множество значений, принимаемых $X(t)$.

Представим вероятность реализации i -го граничного условия из набора вариантов $I(i)$ постоянных граничных условий при пожарах в подземных сооружениях и j -го граничного условия из набора $I(j)$ вариантов переменных граничных условий.

Механизм, вызывающий изменение граничных условий при пожарах в подземных сооружениях описывается матрицей перехода P с элементами p_{ij} , где $i, j \in I$. Элемент p_{ij} равен вероятности, с которой система перейдет состояния i в состояние j за единицу времени. Таким образом p_{ij} — это условная вероятность того, что система будет находиться в состоянии j в следующий момент, при условии, что в данный момент она находится в состоянии i . Значит все элементы P неотрицательны, но не превышают 1, и сумма элементов в любой строке равна 1 [32]:

$$0 \leq p_{ij} \leq 1, i, j \in I,$$

$$\sum_{j \in I} p_{ij} = 1 \quad i \in I,$$

Соответственно опишем возможный набор альтернатив, как стохастическую матрицу P :

$$P = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & a_{14} & \dots & a_{1j} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & a_{24} & \dots & a_{2j} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} & a_{34} & \dots & a_{3j} \\ a_{41} & a_{42} & a_{43} & a_{44} & \dots & a_{4j} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{i1} & a_{i2} & a_{i2} & a_{i2} & \dots & a_{ij} \end{bmatrix},$$

где a_{ij} — альтернатива из набора граничных условий, реализация которых возможна при развитии сценариев пожара в подземных сооружениях, которые были в i -й (j -й) группе граничных условий для $t=1$. Следовательно рассматриваемая система S примет значение:

$$S = \begin{bmatrix} A_{11}^1 & = & \sum_{i(j)} a_{i(j)1}^1 \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ A_{n1}^1 & = & \sum_{i(j)} a_{i(j)n}^1 \end{bmatrix}$$

Однако, вопрос какими свойствами должен обладать базовый алгоритм выбора альтернативы, чтобы при его анализе и идентификации повысить качество решаемой основной задачи остается открытым. Обратимся к минимизации эмпирического риска в выборе альтернатив управленческого решения [36]. Классический принцип минимизации эмпирического риска [37] лежит в основе обучения систем для решения задач прогнозирования при тушении пожара по конечному набору оперативного управления в принятии опорных решений [38]. В задачах принятия опорных решений в зависимости от граничных условий (при управлении пожаротушением в подземных сооружениях) требуется найти неизвестный набор альтернатив для выбора $Z_A = (Z_{A1}, \dots, Z_{An})$, где с каждой n -й альтернативой сопряжены потери, которые вычисляются при помощи функции потерь $f_n = (Z_A)$. Для оценки риска определяется функция эмпирического риска $ER(Z_A)$, которая обычно определяется как среднее арифметическое от потерь, которые возникают для каждой альтернативы из набора граничных условий пожаротушения в подземных сооружениях:

$$ER(Z_A) = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N f_n(Z_A^n), n = 1 \dots N,$$

При этом значения Z_A должны минимизировать функцию эмпирического риска:

$$ER(Z_A) = \min(Z_A^n),$$

Так как функция потерь принимается непрерывно дифференцируемой функцией, следовательно, для минимизации можно использовать любой из градиентных методов [38]. В эмпирическом распределении потерь в альтернативах выбора решений на основе анализа граничных условий на пожаре в подземных сооружениях возможно возникновение отклонений от «нормальных значений», в таком случае минимизация функции эмпирического риска может стать следствием искажению значений искомых параметров.

Решается проблема отклонений их идентификацией. При условии, что реализации сценария идентифи-

кации отклонения, возможно исключение их из набора внутри групп граничных условий на пожаре в подземных сооружениях. Для преодоления отклонений в условиях выбора управленческого решения необходимо решить задачу минимизации эмпирического риска, используя функцию влияния $t(v)$:

$$ER(z_A) = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N t(f_n(Z_A^n)),$$

Как показано в [39], это позволяет избавиться, во многих случаях, от отклонений, что объясняется соотношением:

$$t(v + \Delta) - t(v) = t'(v)\Delta.$$

Таким образом для поиска Z_A^n необходимо применять градиентные методы или адаптировать существующие методы поиска в классической постановке выбора управленческих альтернатив в граничных условиях. На основе анализа граничных условий п действиях пожарно-спасательных подразделений при работе на пожаре в подземных сооружениях большой протяженности и площади получается процесс поиска цепочки управленческих альтернатив вида $ER(z_A)$, которая представляет исходную постановку задачи РТП, но уже, с учетом реализаций граничных условий.

Заключение

Для осуществления совершенствования деятельности РТП по управлению силами с средствами, а также по организации взаимодействия со службами при тушении пожаров, выполнен комплексный анализ граничных условий в организационной системе пожаротушения при управлении функционированием пожарно-спасательных подразделений на пожаре (для всего спектра подземных сооружений большой протяженности и площади), по результатам которого представлены группы граничных условий.

Проведенный комплексный анализ полученных результатов, позволяет использовать полученные данные в основе многомерного анализа критериев управления пожаротушением в подземных сооружениях. Результаты исследования предлагается использовать для проведения анализа обстановки при ведении боевых действий по тушению пожара в сложных условиях, что позволит увеличить набор управленческих альтернатив, тем самым повысить эффективность принимаемых решений РТП и безопасность работающих в НДС звеньев ГДЗС, для ретроспективного анализа эффективности принятых решений при изучении и разборе действий РТП при тушении пожаров в подземных сооружениях большой

протяженности и площади и при разработке документов предварительного планирования [40] тушения пожаров, а также для внедрения в образовательный процесс учебных заведений МЧС России.

Граничные условия и идентификация их параметров необходимы в дальнейшем исследовании как критерий поддержки управления при тушении пожаров в слож-

ных условиях. Данное знание будет использовано при проведении дальнейших исследований, построении моделей и алгоритмов решения задач управления в организационных системах (в том числе таких как система пожаротушения), по отношению к поддержке управления пожарно-спасательными подразделениями и организации взаимодействия со службами организаций и города при тушении пожаров в подземных сооружениях.

ЛИТЕРАТУРА

1. Метелева Е.Р. Выявление тенденций концентрации капитала на основе анализа урбанистических систем // Известия Иркутской государственной экономической академии. 2007. № 6. С. 5–9.
2. Энгельс Ф.К жилищному вопросу / К. Маркс и Ф. Энгельс Сочинения. Издание второе. Том 18. Государственное издательство политической литературы. М.: 1961. 809 с.
3. Федеральный закон от 21.12.1994 № 69-ФЗ «О пожарной безопасности», в редакции от 11.06.2021 г.
4. Аладина Е.А., Аникин С.Н., Данилов М.М., Денисов А.Н. Анализ выполнения основной задачи личным составом МЧС России в деятельности связанной с состоянием защищенности личности, имущества, общества и государства от пожаров // Актуальные проблемы комплексной безопасности в строительстве, тенденции развития в современных условиях: сборник докладов Всероссийской научно-практической конференции. 2021. № 1. С. 10–15.
5. Приказ МЧС России от 09.01.2013 № 3 «Об утверждении Правил проведения личным составом федеральной противопожарной службы Государственной противопожарной службы аварийно-спасательных работ при тушении пожаров с использованием средств индивидуальной защиты органов дыхания и зрения в непригодной для дыхания среде» (Зарегистрировано в Минюсте России 15.03.2013 № 27701).
6. Справочник основных терминов и определений в области гражданской обороны, защиты от чрезвычайных ситуаций, обеспечения пожарной безопасности и безопасности людей на водных объектах. / М.: ФГБУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ). 2013 г. 275 с.
7. Данилова М.А., Данилов М.М., Денисов А.Н., Захаревский В.Б., Шилина А.Н. Модель оперативного управления в принятии опорных решений с учётом оптимальности // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. 2018. № 3. С. 94–101. DOI: 10.25257/FE.2018.3.94–101.
8. Приказ МЧС России от 16.10.2017 № 444 «Об утверждении Боевого устава подразделений пожарной охраны, определяющего порядок организации тушения пожаров и проведения аварийно-спасательных работ» (Зарегистрировано в Минюсте России 20.02.2018 № 50100).
9. Данилов М.М., Денисов А.Н., Еремин М.П., Королев П.С. Исследование расчета сил и средств при тушении ординарных пожаров. НИР. / М.: Академия ГПС МЧС России, 2019. 46 с.
10. Власов С.Н., Торгалов В.В., Виноградов Б.Н. Строительство метрополитенов. М.: Ордена «Знак Почета» издательство «ТРАНСПОРТ», 1987. 327 с.
11. Абашкин, А.А., Ушаков Д.В., Хасанов И.Р. Особенности пожарной опасности подземных сооружений метрополитенов // XXIX Международная научно-практическая конференция, посвященная 80-летию ФГБУ ВНИИПО МЧС России: Материалы конференции: В 2-х частях, Балашиха, 2017. С. 63–65.
12. Bergmeister K., Francesconi S. Causes and Frequency of Incidents in Tunnels / Project No.: GRD1–2001–40739, Brennero (TL). 2004. 20 p.
13. Беляцкий В.П. Анализ обстановки с пожарами в метрополитенах // Противопожарное нормирование на транспорте: сб. науч. тр. М.: ВНИИПО, 1995. С. 31–39.
14. Копылов Н.П., Хасанов И.Р., Сушкина Е.Ю. Экспериментальные и теоретические методы исследования пожарной опасности автотранспортных тоннелей // Основные направления развития инновационных технологий при строительстве тоннелей и освоении подземного пространства крупных мегаполисов: тр. Межд. науч. конф. М., 2010. С. 44–45.
15. Голиков А.Д., Агеев П.М. Основные параметры пожара подвижного состава в тоннеле метрополитена // Юбилейный сборник трудов ФГБУ ВНИИПО МЧС России. М.: ВНИИПО, 2012. С. 199–207.
16. Бондарев В.Ф., Лесков А.А. Определение интенсивности тепловыделения при пожаре подвижного состава метрополитена в тоннеле // Борьба с пожарами в метрополитенах: сб. науч. тр. М.: ВНИИПО, 1992. С. 62–70.
17. Агеев П.М., Савосько С.В., Маслаков М.Д. Особенности расчёта процесса эвакуации людей из подвижного состава метрополитена // Пожары и ЧС. 2016. № 3. С. 20–24.
18. Ingason H. The Metro Project. Final report. Research report 2012:8. / Sweden: Malardalen University. 2012. 118 p.
19. Голиков А.Д., Черкасов Е.Ю., Данилов А.И., Сиваков И.А. Предел огнестойкости конструкций чугунных тоннельных обделок метрополитена без огнезащитных покрытий // Пожаровзрывобезопасность. 2014. Спецвыпуск. С. 45–52.
20. Хасанов, И.Р., Ушаков Д.В., Абашкин А.А. Пожары в подземных сооружениях метрополитенов // Пожарная безопасность. 2016. № 4. С. 166–174.
21. Гринченко Б.Б. Вероятностная оценка необходимого запаса воздуха в дыхательных аппаратах при работе на пожаре // Технологии техносферной безопасности. 2017. № 4(74). С. 155–162.
22. Стрілець В.М. Бородич П.Ю., Росоха–Харків С.В. Закономірності діяльності рятувальників при проведенні аварійно-рятувальних робіт на станціях метрополітену: монографія / М.: НУЦЗХ, КП «Міська друкарня». 2012. 119 с.

23. Шалявин Д.Н., Тараканов Д.В., Гринченко Б.Б. Алгоритм информационной поддержки управления безопасностью участников тушения пожара при работе в непригодной для дыхания среде на объектах энергетики // Современные проблемы гражданской защиты. 2020. № 3 (36). С. 53–61.
24. Шавков В.В., Шидловский А.Л. Исследование поддержки управления безопасностью участников тушения пожаров // Вестник науки. 2021. № 10 (43). С. 75–82.
25. Рожкова Н.В., Страхолис А.А. Математическая модель информационной поддержки оперативных групп пожарно-спасательного гарнизона // Т-Comm. 2021. № 1. С. 19–27.
26. Ковалев П.А. Совершенствование управленческих решений при ликвидации пожаров в метрополитене // Проблемы обеспечения безопасности при ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций. 2012. № 1. С. 128–129.
27. Батюшев В.М., Бикулов А.В., Легенький К.В. Особые условия выполнения профессиональных обязанностей газодымозащитников // Пожарная безопасность: проблемы и перспективы. 2016. № 1 (7). С. 371–373.
28. Власов К.С., Данилов М.М., Еремин М.П., Королев П.С., Пилипчук С.В., Фомин С.С. Воздействие опасных факторов пожара на звенья газодымозащитной службы при проведении боевых действий по тушению пожара // Комплексные проблемы техносферной безопасности. Кампания «Мой город готовится»: задачи, проблемы, перспективы: сборник статей по материалам XVI Международной научно-практической конференции. В.: Воронежский государственный технический университет. 2020. С. 71–75.
29. Соглашение о порядке взаимодействия и обмена информацией между Главным управлением МЧС России по г. Москве и ГУП «Московский 97 метрополитен», подписанное начальником Главного управления МЧС России по г. Москве и начальником ГУП «Московский метрополитен».
30. Стрелец В.М., Бородич П.Ю. Анализ типовых операций, обеспечивающих функционирование эргатической системы «Спасатель чрезвычайная ситуация в метрополитене средства ее ликвидации и защиты» // ВЕЖПТ. 2008. № 4 С. 33–35.
31. Григорьев А.Н., Подгрушный А.В. Тактические приёмы и способы тушения пожаров в кабельных коллекторах для инженерных коммуникаций оперативными подразделениями пожарной охраны // Пожары и ЧС. 2009. № 1. С. 75–82.
32. Марков А.А. Распространение закона больших чисел на величины, зависящие друг от друга // Известия физико-математического общества при Казанском университете. 1906. 2-я серия. Т. 15. С. 135–156.
33. Кельберт М.Я., Сухов Ю.М. Вероятность и статистика в примерах и задачах. Т. II: Марковские цепи как отправная точка теории случайных процессов и их приложения. М.: МЦНМО, 2010. 295 с.
34. Зайцев И.Д. Верификация мультиагентных систем с помощью цепей Маркова: оценка вероятности нахождения агентами оптимального решения // Программные продукты и системы. 2013. № 4. С. 15.
35. Вентцель, Е.С., Овчаров Л.А. Теория случайных процессов и ее инженерные приложения: учебное пособие для студентов высших технических учебных заведений / 5-е изд., стер. — М.: КноРус, 2011. 441 с.
36. Гуз И.С. Минимизация эмпирического риска при построении монотонных композиций классификаторов // Труды МФТИ. 2011. № 3. С. 105–111.
37. Vapnik V. The nature of statistical learning theory / Information science and statistics. NY: Springer-Verlag. 2000. 314 с.
38. Гилл Ф., Мюррей У., Райт М. Практическая оптимизация. М.: Мир, 1985. 509 с.
39. Аникин, С.Н., Данилов М.М., Денисов А.Н. Управление альтернативами выбора принятия опорных решений в тактике тушения пожаров // Computational Nanotechnology. 2020. Т. 7. № 4. С. 39–47. DOI 10.33693/2313–223X-2020–7–4–39–47.
40. Приказ МЧС России от 25.10.2017 № 467 «Об утверждении Положения о пожарно-спасательных гарнизонах» (Зарегистрировано в Минюсте России 09.02.2018 № 49998).

© Королев Павел Сергеевич (pavelpavel2415@mail.ru).

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»