

НАУЧНО-АНАЛИТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ  
**ПРОБЛЕМЫ  
УПРАВЛЕНИЯ РИСКАМИ  
В ТЕХНОСФЕРЕ**  
PROBLEMS OF TECHNOSPHERE RISK MANAGEMENT  
**№ 1 (53) – 2020**

**Редакционный совет**

**Председатель** – доктор технических наук, профессор, заслуженный деятель науки Российской Федерации **Ложкин Владимир Николаевич**, профессор кафедры пожарной, аварийно-спасательной техники и автомобильного хозяйства Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России.

**Заместитель председателя** – (главный редактор) доктор технических наук, профессор, заслуженный работник высшей школы Российской Федерации **Галишев Михаил Алексеевич**, профессор кафедры криминалистики и инженерно-технических экспертиз Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России.

**Члены редакционного совета:**

доктор технических наук, профессор **Шарапов Сергей Владимирович**, профессор кафедры криминалистики и инженерно-технических экспертиз Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России;

доктор технических наук, профессор **Байков Валентин Иванович**, профессор кафедры процессов горения и взрыва Университета гражданской защиты Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь;

доктор технических наук, доцент полковник внутренней службы **Крутолапов Александр Сергеевич**, заместитель начальника института развития по учебно-методической работе Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России;

доктор технических наук, профессор **Иванов Александр Юрьевич**, профессор кафедры системного анализа и антикризисного управления Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России;

доктор технических наук, доцент **Терехин Сергей Николаевич**, профессор кафедры пожарной безопасности зданий и автоматизированных систем пожаротушения Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России;

доктор технических наук, профессор **Малыгин Игорь Геннадьевич**, директор Института проблем транспорта им. Н.С. Соломенко Российской академии наук;

доктор химических наук, профессор полковник внутренней службы **Калач Андрей Владимирович**, заместитель начальника по научной работе Воронежского института – филиала Ивановской пожарно-спасательной академии ГПС МЧС России;

доктор химических наук, профессор **Сиротинкин Николай Васильевич**, декан факультета химической и биотехнологии Санкт-Петербургского государственного технологического института (технического университета);

доктор химических наук, профессор **Богданова Валентина Владимировна**, профессор кафедры процессов горения и взрыва Университета гражданской защиты Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь;

доктор физико-математических наук, профессор **Гончаренко Игорь Андреевич**, профессор кафедры естественных наук Университета гражданской защиты Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь;

доктор наук (PhD), профессор **Агостон Рестас**, начальник Департамента противопожарной профилактики и предотвращения чрезвычайных ситуаций Института управления в чрезвычайных ситуациях (Республика Венгрия);

доктор технических наук **Николич Божо**, профессор Высшей технической школы г. Нови Сад (Республика Сербия);

доктор технических наук **Мрачкова Ева**, профессор кафедры противопожарной защиты Технического университета г. Зволен (Республика Словакия).

#### **Секретарь совета:**

доктор педагогических наук, профессор, заслуженный работник высшей школы Российской Федерации **Медведева Людмила Владимировна**, заведующий кафедрой физико-технических основ обеспечения пожарной безопасности Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России.

### **Редакционная коллегия**

**Председатель** – подполковник внутренней службы **Стёпкин Сергей Михайлович**, начальник редакционного отдела центра организации научно-исследовательской и редакционной деятельности Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России;

**Заместитель председателя** – кандидат технических наук майор внутренней службы **Турсенев Сергей Александрович**, заместитель начальника центра – начальник отдела информационного обеспечения населения и технологий информационной поддержки РСЧС и пожарной безопасности Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России.

#### **Члены редакционной коллегии:**

доктор технических наук, профессор **Моторыгин Юрий Дмитриевич**, профессор кафедры криминалистики и инженерно-технических экспертиз Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России;

доктор педагогических наук, профессор **Пашута Валерий Лукич**, заведующий кафедрой психолого-педагогических и правовых основ служебно-прикладной физической подготовки Военного института физической культуры;

кандидат военных наук, доцент полковник внутренней службы **Горбунов Алексей Александрович**, заместитель начальника университета по учебной работе Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России;

кандидат технических наук, доцент **Пелех Михаил Теодозиевич**, доцент кафедры пожарной безопасности технологических процессов и производств Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России;

кандидат технических наук, доцент **Виноградов Владимир Николаевич**, инженер отдела планирования, организации и координации научных исследований центра организации научно-исследовательской и редакционной деятельности Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России;

кандидат технических наук, профессор, заслуженный работник высшей школы Российской Федерации **Фомин Александр Викторович**, профессор кафедры надзорной деятельности Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России;

кандидат технических наук, доцент полковник внутренней службы **Шидловский Александр Леонидович**, начальник кафедры практической подготовки сотрудников пожарно-спасательных формирований Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России;

кандидат технических наук, доцент **Маловечко Владимир Александрович**, доцент кафедры пожарной безопасности технологических процессов и производств Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России;

доктор экономических наук, профессор **Бардулин Евгений Николаевич**, заведующий кафедрой управления и экономики Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России.

**Секретарь коллегии:**

кандидат технических наук, доцент подполковник внутренней службы **Сытдыков Максим Равильевич**, начальник кафедры пожарной, аварийно-спасательной техники и автомобильного хозяйства Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России.

**Журнал «Проблемы управления рисками в техносфере» включен в Реферативный журнал и базы данных ВИНТИ РАН.**

**Сведения о журнале ежегодно публикуются в Международной справочной системе по периодическим и продолжающимся изданиям «Uberich's Periodicals Directory». Решением ВАК журнал включен в перечень периодических научных и научно-технических изданий, в которых рекомендуется публикация материалов, учитывающихся при защите диссертаций на соискание ученой степени кандидата и доктора наук.**

**Периодичность издания журнала – ежеквартальная**

# СОДЕРЖАНИЕ

## ***БЕЗОПАСНОСТЬ КРИТИЧЕСКИ ВАЖНЫХ И ПОТЕНЦИАЛЬНО ОПАСНЫХ ОБЪЕКТОВ***

|  |    |
|--|----|
| <b>Актерский Ю.Е., Северин С.Н., Шапгала В.В.</b> Количественная оценка противопожарного состояния объектов инфраструктуры системы электроснабжения скоростных железнодорожных магистралей ..... | 6  |
| <b>Раус Е.В., Овчинникова Т.И.</b> Совершенствование методов оценки пожарных рисков на опасных производственных объектах горно-металлургической отрасли .....                                    | 11 |
| <b>Бушнев Г.В., Украинцева Т.В., Савонин С.В.</b> «Регуляторная гильотина» и ее влияние на эксплуатацию опасных производственных объектов .....  | 18 |
| <b>Рева Ю.В.</b> Применение опорно-упорных подшипников скольжения электрических машин открытого исполнения в морской воде .....  | 27 |
| <b>Астанков А.М., Моторин В.М., Вагин А.В.</b> К вопросу снижения рисков возникновения отказов в технических системах специальных объектов .....   | 31 |

## ***ПОЖАРНАЯ И ПРОМЫШЛЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ***

|  |    |
|--|----|
| <b>Сытдыков М.Р., Шилов А.Г., Поляков А.С.</b> О показателях результативности мобильных установок пожаротушения .....  | 37 |
| <b>Таранцев А.А., Шидловский Г.Л., Поташев Д.А.</b> Особенности распространения опасных факторов пожара в подземных стоянках автомобилей .....                                     | 43 |
| <b>Кеда Д.П., Кутузов В.В., Уткин О.В.</b> Оценка организации эксплуатации пожарной автоматики многофункциональных зданий повышенной этажности с применением нечеткой логики ..... | 52 |
| <b>Завьялов Д.Е., Савенкова А.Е., Кондрашин А.В.</b> Организация планирования проверок в области пожарной безопасности с учетом применения методов системного анализа .....        | 61 |
| <b>Гавкалюк Б.В., Ложкин В.Н.</b> Теоретическая концепция контроля топливно-экологических параметров управляемого процесса горения в силовых агрегатах пожарных машин .....        | 65 |

## ***СНИЖЕНИЕ РИСКОВ И ЛИКВИДАЦИЯ ПОСЛЕДСТВИЙ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ. ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ЧС***

|   |     |
|---|-----|
| <b>Ударцева О.В.</b> Моделирование аварийных ситуаций на предприятиях, использующих оборудование, работающее под давлением .....  | 72  |
| <b>Савчук О.Н., Воропаев Н.П., Аксенов А.А.</b> Способы оперативного определения основных исходных данных для прогнозирования аварий подвижных объектов, перевозящих опасные вещества ..... | 79  |
| <b>Николаев Д.В., Вострых А.В., Скуртул И.В.</b> Экономические обоснования перехода на новые подходы в проектировании интерфейсов программных продуктов МЧС России ..                       | 85  |
| <b>Лабинский А.Ю.</b> Использование адаптивной гибридной нечеткой нейронной сети для аппроксимации функций .....  | 89  |
| <b>Туманов А.Ю., Монашков В.В., Туманов В.А.</b> Методика проведения испытаний образцов при осколочном поражении элементарного объекта .....  | 95  |
| <b>Ложкина О.В.</b> Обзор зарубежных подходов для моделирования распространения дыма природных пожаров и прогнозирования его воздействия на безопасность дорожного движения .....           | 100 |

## ***ПОЖАРНАЯ ТАКТИКА, ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПРОЦЕССОВ ГОРЕНИЯ И ТУШЕНИЯ***

|  |     |
|--|-----|
| <b>Кузьмин А.А., Романов Н.Н., Пермяков А.А.</b> Стохастическая модель воздушно-механического процесса пенообразования .....                   | 106 |
| <b>Андрюшкин А.Ю., Афанасьев Е.О., Кадочникова Е.Н.</b> Теоретическая оценка параметров тушения горючих жидкостей тонкораспыленной водой ..... | 112 |

|  |     |
|--|-----|
| <b>Гутовский А.В., Ляшенко С.М., Турсенев С.А.</b> Методика выбора оптимальных параметров мобильного средства защиты людей от теплового воздействия лесного пожара ... | 117 |
| <b>Елисеев Ю.Н., Сысоева Т.П., Копкин Е.В.</b> Анализ причин пожаров на легковых автомобилях .....   | 123 |

|   |            |
|---|------------|
| <b>Сведения об авторах .....</b>  | <b>128</b> |
| <b>Информационная справка .....</b>                                     | <b>131</b> |
| <b>Авторам журнала «Проблемы управления рисками в техносфере» .....</b> | <b>136</b> |

Полная или частичная перепечатка, воспроизведение, размножение либо иное использование материалов, опубликованных в журнале «Проблемы управления рисками в техносфере», без письменного разрешения редакции не допускается.  
Ответственность за достоверность фактов, изложенных в материалах номера, несут их авторы

**ББК 84.7Р**  
**УДК 614.84+614.842.84**

Отзывы и пожелания присылать по адресу: 196105, Санкт-Петербург, Московский проспект, 149. Редакция журнала «Проблемы управления рисками в техносфере»; тел. (812) 645-20-35. E-mail: [redakziaotdel@yandex.ru](mailto:redakziaotdel@yandex.ru). Официальный интернет-сайт Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России: [WWW.IGPS.RU](http://WWW.IGPS.RU)

**ISSN 1998-8990**

---

---

# БЕЗОПАСНОСТЬ КРИТИЧЕСКИ ВАЖНЫХ И ПОТЕНЦИАЛЬНО ОПАСНЫХ ОБЪЕКТОВ

---

---

## КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ОЦЕНКА ПРОТИВОПОЖАРНОГО СОСТОЯНИЯ ОБЪЕКТОВ ИНФРАСТРУКТУРЫ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ СКОРОСТНЫХ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ МАГИСТРАЛЕЙ

**Ю.Е. Актерский, кандидат технических наук,  
доктор военных наук, профессор;**

**С.Н. Северин.**

**Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России.**

**В.В. Шаптала, кандидат технических наук, доцент.**

**Белгородский государственный технологический университет  
им. В.Г. Шухова**

Рассмотрен разработанный в рамках эвристического подхода к анализу пожарной безопасности алгоритм определения числовой характеристики противопожарного состояния объектов инфраструктуры системы электроснабжения железнодорожного транспорта. Предлагаемый алгоритм может быть использован в качестве методики экспресс-оценок состояния пожарной безопасности инфраструктурных объектов в ходе проведения проверочных мероприятий, а также для проведения первичного сравнительного анализа альтернативных технических и проектных решений по обеспечению пожарной безопасности при реконструкции и модернизации инфраструктурных объектов в связи с организацией скоростного железнодорожного сообщения.

*Ключевые слова:* железнодорожный транспорт, система электроснабжения, числовые оценки, пожарная безопасность, человеческий фактор

## QUANTITATIVE ASSESSMENT OF FIRE-FIGHTING CONDITION OF INFRASTRUCTURE OBJECTS OF HIGH-SPEED RAILWAY POWER SUPPLY SYSTEM

Yu.E. Actersky; S.N. Severin. Saint-Petersburg university of State fire service EMERCOM of Russia.  
V.V. Shaptala. Belgorod state technological university named after V.G. Shuhov

The article considers an algorithm for determining the numerical characteristics of fire safety developed in the framework of the heuristic approach to the analysis of fire safety the state of the infrastructure of the railway power supply system. The proposed algorithm can be used as a method for express assessments of the state of fire safety of infrastructure facilities during verification activities, as well as for an initial comparative analysis of alternative technical and design solutions for ensuring fire safety during reconstruction and modernization of infrastructure facilities in connection with the organization of high-speed rail.

*Keyword:* railway transport, power supply system, numerical estimates, fire safety, human factor

Организация скоростного и сверхскоростного железнодорожного сообщения [1–3] сопровождается значительным возрастанием электрических и механических нагрузок на объекты инфраструктуры системы электроснабжения железнодорожных линий, особенно на объекты системы тягового электроснабжения [4–6]. Это увеличивает вероятность возникновения аварийных режимов работы оборудования, что неизбежно влечет за собой возрастание пожарной опасности как самих инфраструктурных объектов, так и других объектов и природной среды на прилегающих территориях.

В этих условиях резко повышаются требования к эффективности противопожарного контроля и противопожарной профилактики [7–13]. Качество планирования и результативность проведения данных мероприятий можно повысить путем внедрения механизма контроля противопожарного состояния объектов инфраструктуры [12], основанного на количественных оценках их противопожарного состояния. Такие оценки найдены для ряда одинаковых объектов с некоторым временным интервалом, они позволяют выполнить сравнительный анализ эффективности различных противопожарных мероприятий, а также исследовать динамику изменения их эффективности в зависимости от изменения внешних условий или условий функционирования железнодорожного транспорта.

В настоящее время, в соответствии с нормативными документами [14–16], основным количественным критерием пожарной безопасности является расчетная величина пожарного риска. При расчете показателей пожарного риска по установленной методике [17] основное внимание уделяется исследованию развития полей опасных факторов пожара и условий эвакуации людей, находящихся на самих объектах или на прилегающих к ним территориях. В меньшей мере учитываются причины возникновения пожаров, поэтому для оперативного контроля и анализа пожарной безопасности одних лишь показателей пожарного риска недостаточно. Необходимы дополнительные количественные оценки, более тесно связанные с конкретными факторами пожарной опасности и пожарной защиты. Количественное оценивание состояний объектов выполняется на основе их математических моделей [18].

Создание детерминированных математических моделей объектов практически невозможно, поскольку точные значения их параметров неизвестны, а многие из них вообще являются случайными величинами, так что конкретные состояния пожарной безопасности являются, по существу, реализациями некоторой совокупности случайностей. Разработка же вероятностных моделей противопожарных состояний затрудняется отсутствием или недостаточным объемом необходимого статистического материала [18]. В связи с неопределенностями, с которыми связан сбор и обработка информации об объектах для оценки их состояний, широко используются понятия и методы экспертного анализа [19, 20] и нечеткого моделирования [21, 22]. При отсутствии строгой математической модели состояния объекта его пожарная безопасность может быть приближенно исследована с помощью индексных методов, разработанных на основе эвристического подхода [18, 23].

Эвристический подход к оценке пожарной безопасности предусматривает [18, 23] выделение и оценивание экспертами в некоторых условных единицах основных факторов пожарной безопасности с последующим формированием на основе частных оценок итогового показателя (индекса) пожарной безопасности, по величине которого выводится заключение о степени пожарной безопасности объекта в целом.

Рассмотрим разработанный в рамках эвристического подхода алгоритм вывода числовой оценки противопожарного состояния объектов инфраструктуры системы электроснабжения железнодорожного транспорта. Первым шагом алгоритма определения числовой оценки является формирование экспертами из множества разнообразных частных факторов пожарной безопасности набора укрупненных базисных факторов, определяющих противопожарное состояние объекта. К примеру, для электрических подстанций тяговой системы электроснабжения [24, 25] представляется достаточным ограничиться тремя базисными факторами. В первый фактор можно включить все элементы и мероприятия, относящиеся к организации противопожарной защиты объекта (средства пожарной

автоматики [26], средства и системы пожаротушения, средства защиты объекта от внешних пожароопасных воздействий, в том числе систему охраны и защиты объекта и его территории от несанкционированного проникновения посторонних лиц, а также средства защиты объекта от неблагоприятных явлений погоды (грозовых разрядов, температурных перепадов, шквалистого ветра, обильных осадков и оледенения проводов).

Во второй базисный фактор можно включить все частные факторы и мероприятия по снижению пожарной опасности объекта. К ним в первую очередь следует отнести строгое выполнение обязательных требований пожарной безопасности [7–13], своевременное и полное исполнение предписаний государственного пожарного надзора, других контролирующих органов и пожарно-технических комиссий [27, 28], соблюдение правил установки и эксплуатации электрического оборудования [29–33], в том числе минимально возможное снижение применения на объекте пожароопасных веществ и материалов, в том числе минимально возможное использование маслonaполненного силового и коммутационного оборудования, а также оборудования, выработавшего нормативный срок эксплуатации. Большое влияние на пожароопасность оборудования оказывает применяемый способ его технического обслуживания по его фактическому состоянию или же на основе системы планово-предупредительных ремонтов по результатам современных технологий технической диагностики, в том числе с применением точных неразрушающих методов контроля состояния оборудования (электрических, тепловых, акустических, оптических и хроматографических) [34].

Многие пожары на железнодорожном транспорте происходили по вине людей, поэтому в третий базисный фактор целесообразно включить все частные факторы и мероприятия, относящиеся к персоналу, обслуживающему объект, в частности качество подбора работников, уровень их профессиональной и противопожарной подготовки, эффективной системы обучения, переподготовки персонала, учебно-практических тренировок, качество аттестации операторов и должностных лиц объектов, меры по снижению возможных негативных проявлений человеческого фактора [35]: соблюдение режима труда и отдыха работников, выполнение требований охраны труда, поддержание нормальных рабочих и бытовых условий, наличие и качество работы системы контроля состояния здоровья и психоэмоционального состояния работников, применяемые на объекте меры поощрения за честный и добросовестный труд и меры ответственности за грубые ошибки, нарушения и халатность.

Определяемые экспертами, например, с помощью метода парных сравнений, относительные вклады базисных факторов в обеспечение пожарной безопасности объекта  $a_1, a_2, a_3$ , где  $a_1+a_2+a_3=1$ , образуют вектор весовых коэффициентов базисных факторов  $A(a_1, a_2, a_3)$ .

Вторым шагом алгоритма является экспертное оценивание состояния базисных факторов. С этой целью вводится лингвистическая переменная [36] «Качество состояния базисных факторов или объекта в целом», принимающая возможные значения: плохое, удовлетворительное и хорошее, соответствующее трем степеням качества состояний. Этим степеням качества сопоставимы условные числовые интервалы [20, 37]: плохое состояние (0...30), удовлетворительное (31...59), хорошее состояние (60...90). Полученной таким образом числовой шкале можно сопоставить вектор  $Sc$ , компоненты которого совпадают с серединами указанных интервалов:  $Sc (15, 45, 75)$ . Оценивание экспертами базисных факторов связано с неопределенностями, поэтому степень уверенности экспертов или определяемая ими вероятность может варьироваться. Степень уверенности эксперта в том, что состояние  $i$ -го базисного фактора соответствует  $j$ -й степени качества, обозначим  $U_{ij}$ . Тройка чисел ( $U_{i1}; U_{i2}; U_{i3}$ ) представляет собой вектор состояния  $i$ -го базисного фактора  $St_i$ . При этом должно выполняться условие:  $\sum_j U_{ij} = 1$ . Рассмотрим вектор пожарной безопасности объекта в целом

$St_0 = St_1a_1 + St_2a_2 + St_3a_3$ . В качестве количественной оценки противопожарного состояния объекта примем произведение  $St_0 \cdot Sc$ . Положение найденной таким образом количественной



оценки на числовой шкале определяет интерпретацию или качественную оценку противопожарного состояния объекта  $V_{\text{ППС}}$ .

Пример. Предположим, что в результате экспертного анализа найдены следующие данные:

$$a = (0,5 \quad 0,3 \quad 0,2) \quad ;$$

$$St_1 = (0,5 \quad 0,38 \quad 0,12) \quad ;$$

$$St_2 = (0,6 \quad 0,3 \quad 0,1) \quad ;$$

$$St_3 = (0,65 \quad 0,3 \quad 0,05) \quad ;$$

$$St_o = (0,56 \quad 0,34 \quad 0,1) \quad ;$$

$$V_{\text{ППС}} = St_o \cdot Sc = 15 \cdot 0,56 + 45 \cdot 0,34 + 75 \cdot 0,1 = 31,2 \quad .$$

Таким образом, противопожарное состояние объекта удовлетворительное с оценкой 31.

Возможны и другие схемы обработки результатов экспертного оценивания противопожарного состояния объекта. Предположим, что эксперт или группа экспертов в составе пожарно-технической комиссии по итогам изучения всей доступной информации определяет вектор весов базисных факторов  $A(a_1, a_2, a_3)$  и вектор пожарной безопасности объекта в виде  $U(u_1, u_2, u_3)$ , где  $u_j$  – степень уверенности эксперта в том, что противопожарное состояние объекта в целом соответствует  $j$ -ой степени качества. Тогда в качестве количественной оценки противопожарного состояния объекта можно принять произведение  $U \cdot A$ . Предлагаемый алгоритм определения количественных характеристик противопожарного состояния объектов основан на экспертных оценках различных факторов пожарной безопасности, поэтому точность полученных с помощью данного алгоритма числовых оценок зависит от достоверности и непротиворечивости экспертного оценивания, которые могут быть повышены путем рационального подбора экспертов и применения специальных методов обработки результатов экспертного оценивания [20, 34].

Несмотря на условность предлагаемой количественной характеристики, представляется целесообразным ее использование для получения экспресс-оценок состояния пожарной безопасности объектов в ходе оперативных контрольных мероприятий [28, 38], а также для проведения первичного сравнительного анализа альтернативных вариантов технических и проектных решений по обеспечению пожарной безопасности при реконструкции и модернизации объектов инфраструктуры системы электроснабжения в связи с организацией скоростного железнодорожного сообщения [5, 6, 38].

### Литература

1. Программа организации скоростного и высокоскоростного железнодорожного сообщения Российской Федерации. М., 2015.
2. Стратегия развития высокоскоростного железнодорожного транспорта в Российской Федерации до 2030 года. М., 2007. 70 с.
3. Высокоскоростной железнодорожный транспорт / Р.П. Киселев [и др.]: в 2-х т. М.: ВПО РГУПС, 214. Т. 1. 308 с.; Т. 2. 372 с.
4. Тер-Органов Э.В., Пышкин А.А. Электроснабжение железных дорог. Екатеринбург: УРГУПС, 2014. 432 с.
5. Марквардт К.Г. Электроснабжение электрифицированных железных дорог. М.: Транспорт, 1982. 524 с.

6. Свод правил. Тяговое электроснабжение высокоскоростных железнодорожных линий. Правила проектирования и строительства. М.: Минстрой России, 2016.
7. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности: Федер. закон Рос. Федерации от 22 июля 2008 г. № 123-ФЗ. Доступ из инф.-правового портала «Гарант».
8. О противопожарном режиме: постановление Правительства Рос. Федерации от 25 апр. 2012 г. № 390. Доступ из инф.-правового портала «Гарант».
9. Правила пожарной безопасности на железнодорожном транспорте (ППБО-109-92) (утв. МЧС РФ 11 нояб. 1992 г. № ЦУО-112) // ЭЛЕКТРОННЫЙ ФОНД правовой и нормативно-технической документации. URL: <http://www.docs.cntd.ru> (дата обращения: 21.11.2019).
10. СП 153.13130.2013. Инфраструктура железнодорожного транспорта. Требования пожарной безопасности // ЭЛЕКТРОННЫЙ ФОНД правовой и нормативно-технической документации. URL: <http://www.docs.cntd.ru> (дата обращения: 21.11.2019).
11. Правила пожарной безопасности на железнодорожном транспорте (ППБО-109-92) (утв. МЧС РФ 11 нояб. 1992 г. № ЦУО-112) // ЭЛЕКТРОННЫЙ ФОНД правовой и нормативно-технической документации. URL: <http://www.docs.cntd.ru> (дата обращения: 21.11.2019).
12. О безопасности высокоскоростного железнодорожного транспорта: Технический регламент ТС (ТР ТС 002/2011) // ЭЛЕКТРОННЫЙ ФОНД правовой и нормативно-технической документации. URL: <http://www.docs.cntd.ru> (дата обращения: 21.11.2019).
13. О безопасности инфраструктуры железнодорожного транспорта (ТР ТС 003/2011): Технический регламент ТС // ЭЛЕКТРОННЫЙ ФОНД правовой и нормативно-технической документации. URL: <http://www.docs.cntd.ru> (дата обращения: 21.11.2019).
14. О промышленной безопасности опасных производственных объектов: Федер. закон от 21 июля 1997 г. № 116-ФЗ. Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».
15. ГОСТ 12.1.004–91. Пожарная безопасность. Общие требования // ЭЛЕКТРОННЫЙ ФОНД правовой и нормативно-технической документации. URL: <http://www.docs.cntd.ru> (дата обращения: 21.11.2019).
16. ГОСТ Р 12.3.047–98. Пожарная безопасность технологических процессов. Общие требования. Методы контроля // ЭЛЕКТРОННЫЙ ФОНД правовой и нормативно-технической документации. URL: <http://www.docs.cntd.ru> (дата обращения: 21.11.2019).
17. Методика определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах: приказ МЧС РФ от 10 июля 2009 г. № 404 (зарег. в Минюсте от 17 авг. 2009 г. № 14541). Доступ из инф.-правового портала «Гарант».
18. Якуш С.Е., Эсманский Р.К. Анализ рисков. Подходы и методы. Проблемы анализа риска. 2009. Т. 6. № 3. С. 8–46.
19. Орлов А.И., Федосеев В.Н., Ларионов В.Г. Управление промышленной и экологической безопасностью. М.: Академия, 2009. 384 с.
20. Орлов А.И. Экспертные оценки. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2011. 486 с.
21. Борисов В.В., Круглов В.В., Фудулов А.С. Нечеткие модели и сети. М.: Горячая линия-Телеком, 2012. 284 с.
22. Вагин А.В. Методика оценки и способы снижения пожарной опасности торговых объектов на станциях метрополитена: дис. ... канд. техн. наук. СПб.: С.-Петерб. ин-т ГПС МЧС России, 2005. 135 с.
23. Власов А.А. Сравнительный анализ применения индексных методов анализа пожарного риска // Научные и образовательные проблемы гражданской защиты. 2014. № 3. С. 58–65.
24. Почаевец В.С. Электрические подстанции. М.: ФГ БОУ Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте, 2012. 491 с.
25. Бей Ю.М., Мамошин Р.Р. Тяговые подстанции. М.: Транспорт, 1986. 319 с.
26. СП 6.13130.2013. Системы противопожарной защиты электрооборудования. Требования пожарной безопасности // ЭЛЕКТРОННЫЙ ФОНД правовой и нормативно-технической документации. URL: <http://www.docs.cntd.ru> (дата обращения: 21.11.2019).

27. Смелков Г.Н., Александров А.А., Пехотиков В.А. Методы определения причастности к пожарам аварийных режимов в электротехнических устройствах. М.: Стройиздат, 1980.
28. Стандарт ОАО РЖД СТО РЖД 1.15.005.2013. Система управления пожарной безопасностью в ОАО РЖД.
29. Правила устройства электроустановок (ПУЭ). М.: НЦ ЭНАС, 2007. 552 с.
30. Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей. М.: НЦ ЭНАС, 2007. 304 с.
31. Навценя В.Ю., Федосов В.Ю., Стручалин В.Ю. Пожарная безопасность электроустановок на железнодорожном транспорте. М.: Изд-во РУТ (МИИТ), 2017. 220 с.
32. Костарев Н.П., Черкасов В.Н. Пожарная безопасность электроустановок: учеб. М.: Акад. ГПС МЧС России, 2002. 377 с.
33. Костарев Н.П., Черкасов В.Н. Методы оценки пожарной опасности электроустановок: учеб. пособие. М.: Акад. ГПС МЧС России, 2002. 107 с.
34. Бешелев С.Д., Гурвич Ф.Г. Математико-статистические методы экспертных оценок. М.: Статистика, 1980. 264 с.
35. Либерман А.Н. Техносферная безопасность: человеческий фактор. СПб., 2006. 101 с.
36. Заде Л. Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений. М.: Мир, 1976. 165 с.
37. Брянский Л.Н., Дойников А.С., Крупин Б.М. Метрология. Шкалы, эталоны, практика. М.: ВНИИФТРИ, 2004. 222 с.
38. Крупенин В.С., Кузнецов Б.В. Организация работы по обеспечению пожарной безопасности на железнодорожном транспорте // Наука и техника транспорта. 2004. № 4. С. 53–60.

## **СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДОВ ОЦЕНКИ ПОЖАРНЫХ РИСКОВ НА ОПАСНЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ОБЪЕКТАХ ГОРНО-МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЙ ОТРАСЛИ**

**Е.В. Раус.**

**Управление вневедомственной охраны войск национальной гвардии Российской Федерации по городу Москве.**

**Т.И. Овчинникова, доктор технических наук, доцент.**

**Национальный исследовательский технологический университет «Московский институт стали и сплавов»**

Проведен анализ существующих методов оценки пожарных рисков на опасных производственных объектах различных отраслей промышленности, включая горно-металлургическую отрасль Российской Федерации. Определена необходимость их совершенствования с учетом отраслевых особенностей, современных требований законодательства в области обеспечения пожарной безопасности. Обоснована теоретико-методологическая база, позволяющая эффективно решить поставленные задачи, в частности, возможность реализации интервально-матричного метода оценки пожарных рисков с получением полевой модели пожара с использованием имитационного компьютерного моделирования в программной среде Fire Dynamics Simulator.

*Ключевые слова:* пожарный риск, методика оценки пожарных рисков, методы расчета пожарных рисков, опасные производственные объекты, горно-металлургическая отрасль, количественные методы оценки пожарных рисков, интервально-матричный метод, полевая модель пожара, математическое моделирование, Fire Dynamics Simulator

# IMPROVEMENT OF METHODS OF ASSESSMENT OF FIRE RISKS ON HAZARDOUS PRODUCTION FACILITIES OF THE MINING AND METALLURGICAL INDUSTRY

E.V. Raus.

Department of private security of the national guard of the Russian Federation in the city of Moscow.

T.I. Ovchinnikova. National research technological university «Moscow institute of steel and alloys»

In the article there is carried out the analysis of the existing methods of assessment of fire risks on hazardous production facilities of various industries, including mining and metallurgical branch of Russian Federation. The relevance of their improvement taking into account branch features, modern law requirements is proved. The theoretical and methodological base allowing to solve effectively objectives is discussed, in particular, the possibilities of realization of an interval and matrix method of assessment of fire risks and receiving field model of the fire with use of imitating computer modeling in Fire Dynamics Simulator environment are considered.

*Keywords:* fire risk, technique of assessment of fire risks, methods of calculation of fire risks, hazardous production facilities, mining and metallurgical branch, quantitative methods of assessment of fire risks, interval and matrix method of calculation, field model of the fire, mathematical modeling, Fire Dynamics Simulator

В настоящее время предприятия горно-металлургической отрасли наряду с нефтегазодобывающей сферой промышленности являются одной из системообразующих основ, обеспечивающих стабильность и развитие экономики Российской Федерации. Однако в то же время их развитие и интенсификация в современных условиях, которые стимулируют высокий спрос на продукцию, сопряжены с угрозами аварий, пожароопасности и растущими масштабами их негативных последствий. Согласно актуальным статистическим данным [1], по количеству аварий, связанных со взрывами и пожарами, горно-металлургическая промышленность по состоянию на 2017 г. заняла второе место в промышленном секторе после химической отрасли. Подобная ситуация во многом сохраняется и в текущих условиях, будучи обусловленной множественными как объективными, так и субъективными причинами внутреннего и внешнего порядка. В связи с этим российским законодательством подобные предприятия закономерно дифференцированы как «опасные производственные объекты» [2].

С введением на законодательном уровне в действие в 2008 г. «Технического регламента о требованиях пожарной безопасности» [3] в качестве одного из ключевых показателей выявления уровня защищенности объектов от пожаров, в том числе опасных производственных объектов, функционирующих в горно-металлургической сфере, определен пожарный риск. В настоящий момент оценка пожарных рисков в Российской Федерации, в том числе в исследуемой сфере, производится на основе нормативного методического инструментария, утвержденного на федеральном уровне. Наибольшая нормативно-правовая и методическая регулируемость при этом в нашей стране, по оценкам специалистов [4], наблюдается в отношении использования методов количественной оценки, имеющих определяющее значение для выявления соответствия используемых на объекте проектных решений требованиям нормативов, их экономической эффективности, установления тарифов страхования ответственности и имущественного страхования при пожарах [4, с. 5, 9].

В основе утвержденных в российских условиях основных подходов к проведению расчетов по оценке пожарного риска [5] лежит механизм сопоставления расчетных величин риска (определяемых по методикам, утвержденным МЧС России, основанным на ГОСТах) с соответствующими законодательно установленными нормативными предельными значениями. Однако нужно заметить, что их выражение в указанных методиках и стандартах

нашло достаточно общее отражение. В свою очередь, Методические указания по проведению анализа риска опасных производственных объектов (РД-03-418-01 [6]) также уточняют лишь общие черты методологии оценки риска, составляющими которой согласно положениям требований выступают: «анализ частоты, последствий неблагоприятных событий и неопределенности результатов, определение мер по уменьшению вероятности аварии, мер по снижению их последствий». Предпоследняя задача, определяющая разработку мер предупреждающего характера, при этом нормативно превалирует над последней из указанных. Рассматривая пожарный риск с позиций риск-ориентированного подхода как управляемый объект, данный перечень, по мнению автора, следует дополнить конечным важнейшим этапом, представляющим подбор или разработку методов управления каждым риском с целью обеспечения пожарной безопасности объекта. В связи с этим на теоретико-методологическом и практическом уровнях в российских условиях актуализируется разработка и апробация научно-обоснованных подходов и инструментария для комплексной, разносторонней оценки пожарного риска, способствующих более результативному выявлению соответствия существующего уровня риска его предельному значению, определенному на нормативно-правовом уровне.

Следует упомянуть, что в последние годы большая часть европейских стран осуществила переход к гибкому, объектно-ориентированному подходу к требованиям пожарной безопасности, постепенно отказавшись от жесткого нормирования [7]. Подобный подход, сущность которого состоит в четком определении целевых ориентиров соответствия для системы пожарной безопасности объекта при отсутствии директивного указания на конкретные реализующие их проектные решения, используется сегодня и в американской практике. Положительным результатом применения указанного подхода является минимизация ограничений, касающихся строительства и устройства объекта и стимулирование разработки вариативных, альтернативных методов, технологий и решений в области обеспечения пожарной безопасности и прогнозирования, измерения соответствующих рисков.

В текущих условиях нельзя вести речь о наличии в мировой методике и практике единого, однозначного инструментария, используемого для оценки пожарных рисков. Их конкретизация и закрепление на законодательном уровне в большинстве стран, как правило, применяется в отношении объектов повышенной опасности, к числу которых относятся и анализируемые в данной статье объекты горно-металлургической отрасли. Для остальных же объектов в большинстве случаев определяются общие методические принципы, в то время как основывающийся на них методический инструментарий носит характер рекомендации, находя отражение в соответствующих стандартизационных документах (NFPA 551: 2018; ISO TS 16732: 2005; PAS 79:2007 и др.).

Пожарный риск учитывает как возможность возникновения опасной ситуации, так и вероятную тяжесть ее последствий. В зависимости от соответствующего уровня выделяется достаточно значительное число методов оценки риска, отличающихся в современной практике большой вариативностью – как целевой, так и практикоприменительной. Так, для анализа пожарного риска в целом могут применяться общие методические инструменты в области оценки риска технологических систем [8] с учетом особенностей, характерных пожару как одному из видов аварии. В свою очередь, NFPA 551 [9] дифференцирует в общей массе такие категории, как качественные, количественные, полуколичественные методы оценки, каждой из которых свойственны свои определяющие особенности. Первым (например, матрицам риска) характерно качественное описание вероятности и последствий риска, как правило, с уровневой дифференциацией его степени. По оценкам исследователей [7], данные методы демонстрируют наибольшую адекватность на этапах первичного анализа пожарного риска. Большую степень объективности при оценке способны обеспечить количественные методы (статистический анализ, имитационное моделирование). Они охватывают расчет двух составляющих риска – вероятности и последствий, позволяя осуществить детальный анализ возможных сценариев развития пожара, измерить его опасность в конкретных количественных показателях,

установить корреляционную зависимость между событиями и факторами, влияющими на величину риска. Полуколичественные методы, как промежуточная категория, предполагают анализ части аспектов (к примеру, сценариев) в количественном, а другой части – в качественном разрезах (выбор одного или нескольких сценариев). В категорию данных методических инструментов следует включить такие традиционные методы, как исследование опасностей при «наихудшем» сценарии пожара с использованием интегрального, зонального, полевого моделирования, а также индексирование, ранжирование риска.

Нужно заметить, что российская практика в исследуемой области также стремится к соответствию мировым тенденциям и стандартам. В отечественных условиях наблюдается постепенный переход к гибкому нормированию. Получившая нормативно-правовое закрепление на федеральном уровне методика количественной оценки пожарного риска, используемая в отечественных условиях, предполагает выполнение расчетов в несколько этапов. Однако в силу объективных и субъективных причин подавляющая часть оцениваемых параметров объектов, причисляемых к опасным производственным, обладает вариативностью и неопределенностью, что делает необходимыми как можно более тщательную и точную оценку и описание не только количественных, но и качественных показателей. При этом анализ действующей в настоящее время многочисленной нормативной и методической документации (утвержденной ГОСТ 12.1.004–91, ГОСТ Р 12.3.047–98, а также вводящей международные требования по анализу и менеджменту риска: ГОСТ Р 51901.1–2002 – МЭК 60300-3-9:1995; ГОСТ Р 51901.4–2005; ГОСТ Р 51901.13–2005 – МЭК 61025:1990; федеральными законодательными актами и постановлениями Правительства Российской Федерации; ведомственными актами [10, 11]) показывает, что проблема неопределенности в рассматриваемой проблематике в отношении оценки количественных параметров не решена. Это подтверждает и практика деятельности опасных производственных объектов в исследуемой области. В динамике последних двух лет контролирующими органами было выявлено около 2 млн нарушений требований промышленной безопасности и охраны недр, выдано более 105 тыс. предписаний о приостановке работ на опасных производственных объектах в связи с угрозой возникновения аварийных и пожароопасных ситуаций, которые могут повлечь гибель людей и урон окружающей среде [12]. В связи с этим совершенствование методологии оценки пожарных рисков опасных производственных объектов горно-металлургической отрасли как в направлении разработки и внедрения качественных, так и количественных инструментов оценки, в течение последних лет остается актуальным направлением исследований в современной науке. В частности, остается недостаточно детализированным алгоритм оценки пожарных рисков, что требует его адаптации к различного вида объектам и отраслевой специфике; сохраняется проблема повышения точности расчетных методов, в том числе обусловленная необходимостью более активного применения современных достижений математических и информационных наук как резервов повышения точности количественных расчетов. Настоящая статья направлена на частичное восполнение указанных пробелов.

Представленный ранее анализ позволяет заключить, что в общем виде особенности оценки пожарных рисков на опасных производственных объектах горно-металлургической отрасли определяются следующими характеристиками: 1) междисциплинарным и многоуровневым характером решаемых задач; 2) неопределенностью большей части параметров; 3) широким спектром причинно-следственных связей, определяющих возникновение пожароопасной ситуации и их непрерывным ростом. В связи с этим авторы полагают возможным использовать интегративный теоретико-методологический подход, предполагающий: использование фундаментальных положений и прикладных методов интервальной математики (в частности, для решения задачи количественной оценки пожарных рисков через представление ее параметров в виде интервальных матриц); применение имитационного метода, в том числе моделирования пожара с построением его полевой детерминистической модели с использованием возможностей информационных технологий.

Перспектива использования методов интервальной математики для совершенствования методов оценки пожарных рисков обусловлены рядом факторов. В силу субъективных и объективных причин с достаточной степенью достоверности при оценке пожарных рисков можно судить лишь о весьма ограниченном количестве параметров, большая же часть является сложно прогнозируемой. Учитывая это, использовать вероятностные методы для количественного измерения неопределенности параметров пожарного риска представляется затруднительным в большинстве возникающих случаев. На взгляд автора, с учетом вариативности возникновения, параметры событий наиболее удобно задавать интервальными матрицами, что не требует дополнительных предположений о распределении вероятности величины параметра в границах интервала. В настоящее время математический аппарат и методику реализации интервальных методов можно найти в актуальных научных трудах [13]. Задание параметров модели в указанной форме предоставляет возможности значительно увеличить степень ее чувствительности и отклик на их вариативность благодаря тому, что интервально-матричный метод позволит непосредственно анализировать вклад каждого из параметров на неопределенность пожарного риска [13]. Это, в свою очередь, позволит выявить значимость каждого параметра на метрику пожарного риска, существенно уменьшив неопределенность его количественных оценок. В то же время, выступая мощными инструментами, занимающими особое место в структуре методов количественной оценки пожарных рисков в рамках математического моделирования пожаров и взрывов, интервальные методы требуют осуществления достаточно трудоемкого и детального анализа. Непрерывное развитие теории математического моделирования, а также стремительный прогресс в области информационных технологий позволяют сократить требуемые ресурсы и повысить точность моделирования [14, с. 54].

В настоящее время выделяются интегральный, зональный, полевой методы построения моделей [14, с. 55]. Параметры выбора конкретной расчетной модели, характеризующей различающимся уровнем сложности, установлены положениями приказа МЧС России от 30 июня 2009 г. № 382 «Об утверждении методики определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и строениях различных классов функциональной пожарной опасности» [11].

Наиболее универсальной в современных условиях исследователями и практиками признается полевая модель, «основанная на системе дифференциальных уравнений в частных производных и предполагающая высокую детализацию параметров для оценки» за счет использования множества переменных, что обеспечивает повышение точности конечного результата [14, с. 55].

Согласно рекомендациям А.А. Абашкина [15], полевой метод применим и эффективен: 1) для помещений сложной геометрической конфигурации, а также помещений с большим количеством внутренних преград (многофункциональные центры со сложной системой вертикальных и горизонтальных связей и т.д.); 2) для помещений, в которых один из геометрических размеров гораздо больше (меньше) остальных (тоннели, закрытые автостоянки большой площади и т.д.); 3) моделирования распространения пожара в помещениях высотой более 6 м; 4) для проведения исследований в целях выявления закономерностей развития пожара; 5) выбора рационального варианта противопожарной защиты конкретных объектов, в том числе представляющих сложные системы, что полностью соотнобразуется с характеристиками рассматриваемых в данном исследовании объектов и имеет для них особое значение. Учитывая особенности функционирования предприятий горно-металлургической отрасли, а также отсутствия любых априорных допущений о структуре течения в модели [16], полевой метод был выбран автором как наиболее мощный, по сравнению с зональным и интегральным методом, применимый для рассмотрения любого сценария развития пожара на особо опасных производственных объектах. В то же время, принимая во внимание тот факт, что полевые модели требуют больших вычислительных ресурсов, в целях оптимизации трудозатрат для реализации интервально-матричного метода

расчета оценки пожарных рисков на предприятиях горно-металлургической сферы, относящихся к числу особо опасных объектов с высокой неопределенностью характеристик, в качестве одного из наиболее перспективных автор считает целесообразным использование имитационного компьютерного моделирования с получением полевой модели пожара, снижающего за счет современных возможностей компьютерных технологий ограничения в области проведения многовариантных расчетов, предполагаемых выбранными методами.

Автором предлагается реализация интервально-матричного метода расчета метрики пожарного риска на примере предприятий горно-металлургического комплекса в программной среде «Fire Dynamics Simulator» (FDS), разработанной Национальным институтом стандартов и технологии США в рамках проекта межстранового сотрудничества и многолетней апробации данного решения. Функционал данной программной среды позволяет «обеспечить количественное описание физико-химических явлений при пожаре, зависящих от источников зажигания, геометрии помещений и вида горящих материалов» [17]. Получаемые данные могут использоваться для «прогнозирования динамики возможного пожара на стадии проектирования опасных производственных объектов горно-металлургической отрасли, оптимизации средств пожарной автоматики, прогнозирования ущерба в зависимости от возможных сценариев развития пожара» [17].

Основной целью FDS является решение прикладных задач пожаробезопасности и создание условий для многомерного анализа фундаментальных процессов при пожаре. В рамках функционала программы реализуется вычислительная гидродинамическая модель тепломассопереноса при горении. Такой подход является гибким и может быть применен к различным пожарам, риски которых существуют в горно-металлургической сфере, начиная от горения в печах и до пожаров при горнодобыче, хранении пожароопасных материалов и т.д. Также с помощью FDS может быть выполнено моделирование, не включающее горение, например, работа вентиляции в зданиях горно-металлургического комплекса т.д. Оценочный инструментарий программы FDS в части функций, представляющих особый интерес для предприятий горно-металлургической сферы, охватывает: многоступенчатые реакции горения, работу систем пожаротушения, образование тяги, стратификации атмосферы, программирование конструкций, измерение предела огнестойкости. Программа позволяет осуществлять моделирование в рамках различных временных интервалов и широко варьировать оцениваемые параметры (в том числе многочисленные характеристики материалов) при оценке пожарной нагрузки, снижая риски фактора неопределенности.

Для современных производственных объектов горно-металлургической сферы, относящихся к числу особо опасных, большое значение приобретает фактор высокой точности расчетов, обеспечиваемых применяемым программным инструментарием и лежащими в основе методами оценки. Анализируемое программное обеспечение (ПО) удовлетворяет данным требованиям. Программа FDS успешно прошла оценочные испытания (валидацию) и экспериментальную апробацию в натуральных условиях с использованием различных видов топлив, горелок и различных помещений в Национальном институте стандартов и технологий США (NIST), Техническом исследовательском центре Финляндии (VTT), Ольстерском университете Северной Ирландии и других научно-исследовательских учреждениях Европы, продемонстрировав, что получаемые с ее помощью решения имеют достаточную инженерную точность (а именно 15–20 %) [14]. В ходе эмпирических экспериментов была подтверждена применимость программы для большого числа сценариев пожара и комплексной оценки рисков. Кроме того, нашел подтверждение тот факт, что реализованная в программе полевая модель может применяться для решения широкого спектра научно-прикладных задач тепломассопереноса при пожаре, в том числе для «расчета времени блокирования путей эвакуации опасными факторами пожара, для расчета огнестойкости конструкций, времени срабатывания спринклеров и датчиков и др.» [14]. Ввиду того, что модель не требует предварительных допущений о структуре потока, ее можно использовать для любых объемно-планировочных решений, что крайне значимо



для объектов горно-металлургической сферы, отличающихся комплексным характером, сложностью систем и конструкций.

Таким образом, с учетом указанных преимуществ программа FDS может быть рекомендована как перспективный инструмент измерения пожарных рисков на опасных объектах горно-металлургической отрасли с достаточно высокой инженерной точностью, предполагая необходимость дальнейшей, детальной апробации данного программного обеспечения в реальных практических условиях. В то же время нужно отметить, что в силу нацеленности на решение фундаментальных задач при оценке пожарных рисков программа FDS располагает достаточно сложным интерфейсом, требуя специализированного обучения пользователей и предполагая предварительную подготовку данных для обработки в определенном формате (систематизация и группировка исходных данных в отдельном текстовом файле с соответствующими заголовками на основании действующих методик оценки пожарного риска и методических рекомендаций по их применению [15]). Для того чтобы повысить эффективность обработки входных данных FDS для дальнейшего моделирования, возможна их предварительная систематизация в кластеры.

Таким образом, применение инструментария FDS требует привлечения дополнительных временных и трудовых ресурсов, а также специальных знаний со стороны оперирующего ими специалиста. Ввиду того, что данные факторы имеют особое значение для опасных производственных объектов, указанные ограничения могут быть преодолены с помощью дополнительного применения программы PyroSim (разработчик – Thunderhead Engineering Inc., США) – упрощенного пользовательского графического интерфейса для моделирования динамики развития опасных факторов пожара полевым методом, который позволяет удобно создавать, редактировать, анализировать сложные модели. Функционал PyroSim дает возможность интерактивно вводить исходные данные и проверять правильность исходного формата файла для FDS, предоставляя удобные инструменты визуализации данных в режимах многомерной реальности (3D и др.), например диагональные стены, группировку, модификацию объектов и т.д., что позволяет производить более точную оценку пожарных рисков в динамике, обеспечивая их управляемость как одну из важнейших характеристик, определяющих эффективность применения риск-ориентированного подхода.

### **Литература**

1. Обзор горнодобывающей и металлургической промышленности: 2017 г. М.: PWC, 2018. 45 с.
2. О промышленной безопасности опасных производственных объектов: Федер. закон от 21 июля 1997 г. № 116-ФЗ (с изм. от 25 марта 2017 г.). Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».
3. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности: Федер. закон от 22 июля 2008 г. № 123-ФЗ (с изм. от 31 июля 2018 г.). Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».
4. Пожарные риски: монография / Н.Н. Брушлинский [и др.]. М.: Акад. МЧС России, 2015. 165 с.
5. О порядке проведения расчетов по оценке пожарного риска: постановление Правительства Рос. Федерации от 31 апр. 2009 г. № 272 // Собр. законодательства Рос. Федерации. 2009. № 14. Ст. 1656.
6. РД 03-418-01. Методические указания по проведению анализа риска опасных производственных объектов (утв. постановлением Госгортехнадзора России от 10 июля 2001 г. № 30) // ЭЛЕКТРОННЫЙ ФОНД правовой и нормативно-технической документации. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200012878> (дата обращения: 08.06.2019).
7. Yung D. Principles of Fire Risk Assessment in Buildings. N.Y.: J. Wiley & Sons, 2009. 250 p.

8. NFPA 551. Guide for the Evaluation of Fire Risk Assessments-2018 // National Fire Protection Association. 2018. URL: <https://www.nfpa.org/codes-and-standards/all-codes-and-standards/list-of-codes-and-standards/detail?code=551> (дата обращения: 15.08.2018).
9. ГОСТ Р 51901.1–2002 (МЭК 60300-3-9:1995). Менеджмент риска. Анализ риска технологических систем // ЭЛЕКТРОННЫЙ ФОНД правовой и нормативно-технической документации. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200030153> (дата обращения: 08.06.2019).
10. Методика определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах (утв. приказом МЧС России от 10 июня 2009 г. № 404) // Бюллетень норм. актов фед. орг. исп. власти. 2009. 14 сент. Вып. № 37.
11. Методика определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и строениях различных классов функциональной пожарной опасности (утв. Приказом МЧС России от 30 июня 2009 г. № 382). М.: МЧС России, 2015. 100 с.
12. Горный и металлургический надзор // Ростехнадзор. 2018. URL: <http://www.gosnadzor.ru/industrial/mining/> (дата обращения: 08.06.2019).
13. Колесников Е.Ю. Интервально-матричный метод количественной оценки пожарного риска на примере склада жидкого аммиака // Проблемы анализа риска. 2015. Т. 12. № 4. С. 28–41.
14. Малышев К.С. Математическое моделирование типовых очагов горения в начальной стадии при помощи программы FDS // Молодой ученый. 2011. Т. 1. № 10. С. 54–57.
15. Методики определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и строениях различных классов функциональной пожарной опасности: пособие по применению / А.А. Абашкин [и др.]. М.: ВНИИПО, 2014. 247 с.
16. Применение полевого метода математического моделирования пожаров в помещениях: метод. указания. Балашиха: ФГБУ НИИПО МЧС РФ, 2017. 21 с.
17. Fire Dynamics Simulator: Technical Reference Guide. Vol. 1 / McGrattan K., etc. Gaithersburg: NIST, VTT, 2013. 266 p.

## **«РЕГУЛЯТОРНАЯ ГИЛЬОТИНА» И ЕЕ ВЛИЯНИЕ НА ЭКСПЛУАТАЦИЮ ОПАСНЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ОБЪЕКТОВ**

**Г.В. Бушнев, кандидат технических наук, доцент.**

**Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России.**

**Т.В. Украинцева, кандидат технических наук, доцент;**

**С.В. Савонин, кандидат технических наук, доцент.**

**Санкт-Петербургский государственный технологический институт  
(технический университет)**

Приведен обзор направлений действий Правительства Российской Федерации по формированию современной, адекватной требованиям времени и технологического развития, эффективной системы регулирования. Ряд нормативно-правовых актов, касающихся работы промышленных предприятий, был разработан еще в прошлом веке и не учитывает современного развития производства. Предусматривается реформа контрольно-надзорной деятельности, которая предполагает постепенную отмену к 2021 г. ряда нормативно-правовых актов и нормативно-технических документов.

*Ключевые слова:* правовое регулирование, регуляторная гильотина, нормативно-правовые акты, промышленная и пожарная безопасность

## «REGULATORY GUILLOTINE» AND ITS IMPACT ON THE OPERATION OF HAZARDOUS PRODUCTION FACILITIES

G.V. Bushnev. Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia.

T.V. Ukraintseva; S.V. Savonin.

Saint-Petersburg state technological institute (technical university)

The article provides an overview of the actions of the government of the Russian Federation on the formation of a modern, adequate to the requirements of time and technological development, an effective regulatory system. A number of regulations relating to the work of industrial enterprises, was developed in the last century and does not take into account the modern development of production. The reform of control and supervision activities is envisaged, which involves the gradual abolition by 2021 of a number of normative and legal acts and regulatory and technical documents.

*Keywords:* legal regulation, regulatory guillotine, regulatory legal acts, industrial and fire safety

В программе «Диалог» 11 сентября на канале «Россия 24» глава Правительства Дмитрий Медведев объявил о своем поручении принять меры по прекращению действия нормативных актов СССР и РСФСР до конца 2019 г. Поручение имеет Приложение на 1 992 страницах, где перечисляются 20 419 нормативных актов, которые и планируется отменить [1], таким образом, приводится в действие так называемая «регуляторная гильотина».

В чем суть «регуляторной гильотины» и какова цель ее применения?

В настоящее время обязательные требования к поднадзорным объектам устанавливаются соответствующими нормативно-правовыми актами и нормативно-техническими документами. При этом согласно Федеральному закону о техническом регулировании [2] любой, существующий в настоящее время, нормативно-технический документ носит исключительно рекомендательный характер и необязателен к применению.

Ряд нормативно-правовых актов, касающихся работы промышленных предприятий, был разработан еще в прошлом веке и не учитывает современного развития производства.

В связи с вышеуказанными обстоятельствами, Правительством предусматривается реформа контрольно-надзорной деятельности, которая предполагает постепенную отмену к 2021 г. ряда нормативно-правовых актов и нормативно-технических документов, входящих в «дорожную карту» по реализации механизма регуляторной гильотины [3].

Первым шагом этой реформы стал, представленный Правительством в мае 2019 г., проект контрольно-надзорного кодекса [4].

Идея регуляторной гильотины не нова, в частности, в зарубежной практике используется уже более 20 лет. Наиболее успешно «регуляторная гильотина» реализована в Южной Корее. В ходе применения «регуляторной гильотины» там было отменено порядка 55 % нормативных документов из 12 тыс. пересмотренных. Аналогичную процедуру использовал и Вьетнам, который отменил порядка 33 % из 6 тыс. административных процедур.

Однако не стоит забывать, что отмена устаревших законодательных актов не может подменить реформу Законодательства и изменение самой системы регулирования и контроля, а также разработку новых качественных нормативно-правовых актов.

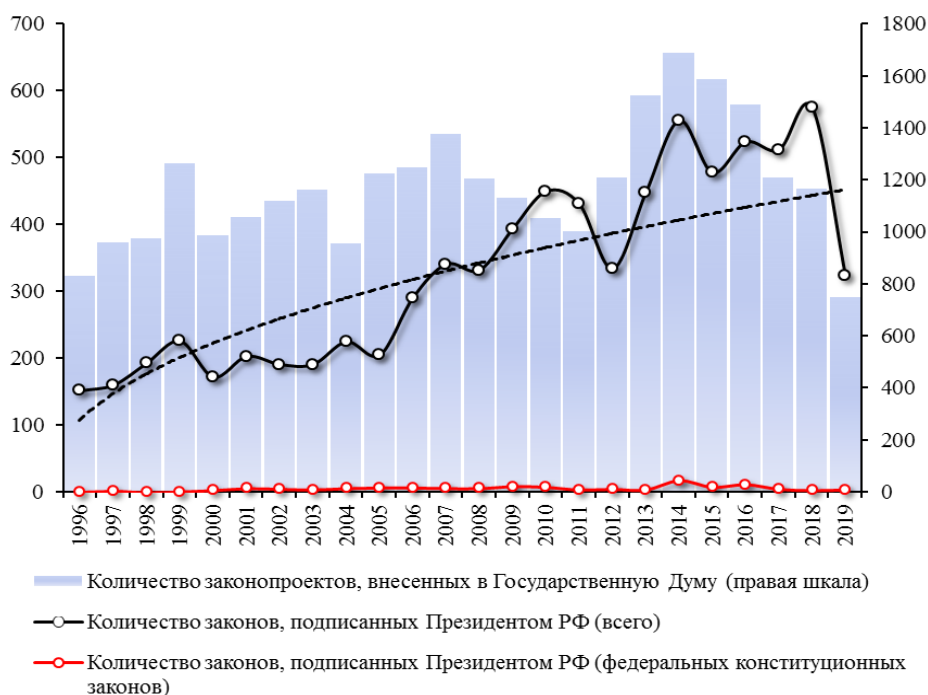
В общей сложности, как было показано в работах [5, 6], в России каждый год принимается около 20 тыс. нормативно-правовых актов и нормативно-технических документов, при этом с безопасностью функционирования производственных объектов связаны, так или иначе, тысячи актов.

В табл. 1 приведена обобщенная информация по базовым федеральным законам, принятым в период с 1994 по 2016 гг. включительно. Согласно работе [5] под базовыми понимаются «...федеральные законы, не являющиеся федеральными законами о внесении изменений, дополнений, отмене, приостановлении либо распространении действия других федеральных законов; а также не являющиеся федеральными законами, связанными с участием (присоединением, выходом, ратификацией, денонсацией и т.п.) Российской Федерации в международных договорах; федеральными законами о бюджетах и социальных фондах (утверждении бюджета на очередной календарный год, исполнении бюджета, установлении страховых взносов и тарифов); федеральными законами о создании, упразднении и преобразовании судов и судебных присутствий; федеральными законами, связанными с рассмотрением и исполнением федерального бюджета на очередной год, и иными, рассчитанными на однократное применение либо применение в отношении конкретных лиц/объектов, то есть своего рода «индивидуальными в отношении нормативных»...».

**Таблица 1. Сводная информация по базовым федеральным законам, принятым в период с 1994 по 2016 гг. включительно**

| Год  | Количество базовых федеральных законов | Количество отмененных документов | Число действующих документов с изменениями | Число действующих документов без изменений |
|------|--|----------------------------------|--|--|
| 1994 | 15                                     | 2                                | 0  | 13   |
| 1995 | 76                                     | 33                               | 7  | 36   |
| 1996 | 42                                     | 12                               | 2  | 28   |
| 1997 | 31                                     | 10                               | 1  | 20   |
| 1998 | 57                                     | 19                               | 2  | 36   |
| 1999 | 50                                     | 20                               | 2  | 28   |
| 2000 | 16                                     | 4                                | 0  | 12   |
| 2001 | 36                                     | 7                                | 0  | 29   |
| 2002 | 33                                     | 3                                | 0  | 30   |
| 2003 | 26                                     | 2                                | 3  | 21   |
| 2004 | 21                                     | 0                                | 1  | 20   |
| 2005 | 13                                     | 4                                | 0  | 9  |
| 2006 | 27                                     | 1                                | 3  | 23   |
| 2007 | 21                                     | 1                                | 1  | 19   |
| 2008 | 22                                     | 2                                | 2  | 18   |
| 2009 | 23                                     | 2                                | 4  | 17   |
| 2010 | 21                                     | 0                                | 0  | 21   |
| 2011 | 37                                     | 0                                | 1  | 36   |
| 2012 | 12                                     | 0                                | 2  | 10   |
| 2013 | 24                                     | 0                                | 5  | 19   |
| 2014 | 27                                     | 0                                | 12   | 15   |
| 2015 | 27                                     | 0                                | 14   | 13   |
| 2016 | 13                                     | 0                                | 12   | 1  |

Общее количество законопроектов, внесенных в Государственную Думу [7], а также распределение количества законов, подписанных Президентом Российской Федерации по годам, приводится на рис. 1.



*Примечание:* Данные за 2019 г. приведены с января по сентябрь

Рис. 1. Сводные данные по внесенным и принятым Государственной Думой законам

Распределение основных базовых федеральных законов, существующих, отмененных, оставленных без изменений, приведено на рис. 2.

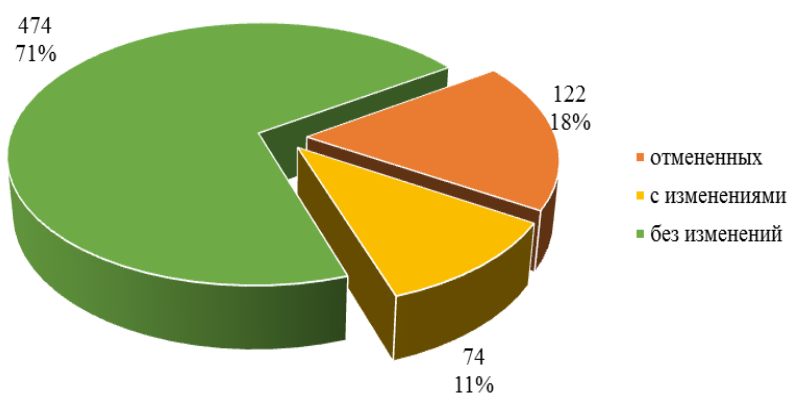
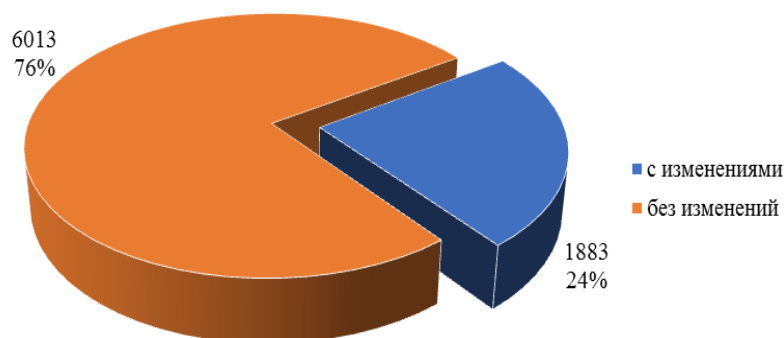


Рис. 2. Распределение базовых федеральных законов в Российской Федерации на 2016 г.

Из представленных данных на рис. 1, 2 видно, что в 2016 г. в Российской Федерации разработано порядка 670 базовых федеральных законов, из которых 122 (или 18 %) было отменены, 74 (или 11 %) действуют с изменениями и 474 (или 71 %) действуют без изменений.

Статистические данные официального интернет-портала правовой информации [8] по распределению основных законодательных документов Российской Федерации с 20 сентября 1937 г. по 2 сентября 2019 г. приведены на рис. 3.



**Рис. 3. Статистические данные по распределению основных законодательных документов Российской Федерации**

Согласно данным, опубликованным на этом портале, общее количество основных законодательных документов Российской Федерации включает в себя 220 751 документ. Из них общее количество федеральных законов Российской Федерации, законов РСФСР, федеральных конституционных законов составляет порядка 7 896 шт., из них 1 883 (24 %) документа действует с изменениями и 6 013 (76 %) без изменений. Общее количество указов Президента составляет 27 601, из них действует с изменениями 1 549 (6 %), без изменений – 26 052 (94 %).

Исходя из данных, опубликованных на сайте Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии [9], на текущий момент в Российской Федерации обращается более 86 тыс. национальных и межгосударственных стандартов. Согласно отчету об итогах деятельности Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии в 2018 г. в рамках реализации Программы национальной стандартизации только в 2018 г. было утверждено 1 048 новых документов национальной системы стандартизации, из которых 666 были разработаны за счет бюджетных средств и 382 профинансированы разработчиками.

Сводные данные по количеству вновь разработанных и утвержденных документов приведены в табл. 2 [10].

**Таблица 2. Сводные сведения по разработке и утверждению документов национальной системы стандартизации в 2015–2018 гг., плановые показатели 2019 г.**

| Годы  | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019<br>(план) |
|---|------|------|------|------|----------------|
| Всего в работе  | 4723 | 4880 | 4058 | 4370 | 4740           |
| Переходящие темы  | 2757 | 2473 | 2715 | 2089 | 2480           |
| Новые темы  | 1966 | 2407 | 1343 | 2281 | 2260           |
| Принято новых стандартов,                                 | 1851 | 1896 | 1948 | 1048 | 1549           |
| – в том числе, ГОСТ                                       | 944  | 949  | 784  | 530  | 426            |
| – в том числе ГОСТ Р и ИСО                                | 907  | 947  | 1164 | 518  | 1123           |
| – в том числе разработка которых финансировалась бизнесом | 212  | 294  | 249  | 382  | 598            |
| Уровень гармонизации, %                                   | 49,5 | 49,5 | 50,0 | 50,0 | 50,0           |

Согласно данным Минстроя России [11], ежегодно разрабатывается более 100 сводов правил и стандартов. Так, за период с 2015 по 2017 гг. было разработано и актуализировано порядка 303 сводов правил и 35 стандартов.

Анализ приведенных статистических данных различных ведомств показывает практически лавинообразное нарастание принимаемых федеральных законов, сводов правил,

национальных и межгосударственных стандартов, а также увеличение количества изменений, вносимых в них.

Постоянное внесение изменений, высокая скорость их разработки и принятия, малый срок для оценки регулирующего воздействия принимаемых документов, недостаточный анализ и учет мнения бизнес-сообщества приводят к тому, что принимаемые законы и стандарты, а также изменения к ним содержат большое число ошибок, несостыковок, а иногда и явные противоречия с нормативно-правовыми актами и нормативно-техническими документами различных ведомств.

Согласно мнению автора Н.Ткаченко [6], в последнее время все большее распространение получило создание формальных документов, основной целью которых является не установление норм и правил, а способ реагирования государственной власти на возникающие проблемы в промышленной, экономической, социальных сферах.

Большая часть принимаемых документов лишь частично гармонизированы с международными стандартами. Так, по данным Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии [10], уровень гармонизации принимаемых документов с международными стандартами составляет порядка 50 %, что затрудняет их использование в условиях тесной интеграции с зарубежными технологиями. Кроме того, в настоящее время практически отсутствуют документы, устанавливающие технические требования к ряду объектов промышленности, таких как морские нефтяные платформы. Существующие своды правил являются «переводными» и не в полной мере учитывают структуру управления в Российской Федерации.

Для решения данной проблемы по поручению Президента Российской Федерации от 26 февраля 2019 г. № Пр-294 (п. 36) [12] Правительством Российской Федерации было принято решение о реформировании контрольно-надзорной деятельности [13], которое предполагает отмену с 2021 г. целого ряда нормативно-правовых актов и нормативно-технических документов, входящих в «дорожную карту» по реализации механизма «регуляторной гильотины».

Согласно Методике исполнения плана мероприятий («Дорожной карты») по реализации механизма «регуляторной гильотины» [3] основной целью реализации механизма «регуляторной гильотины» является «...формирование современной, адекватной требованиям времени и технологического развития, эффективной системы регулирования в соответствующей сфере общественных отношений, основанной на выявлении наиболее значимых общественных рисков и их снижении до приемлемого уровня, в том числе путем выбора адекватных способов воздействия на риски и установления таких обязательных требований, которые в наибольшей степени влияют на предотвращение негативных последствий реализации этих рисков...».

Механизм «регуляторной гильотины» включает в себя:

– признание утратившими силу или отмену всех нормативных правовых актов Правительства Российской Федерации, федеральных органов исполнительной власти, нормативных правовых актов РСФСР, а также признание не действующими на территории Российской Федерации нормативных правовых актов СССР, устанавливающих обязательные требования, соблюдение которых подлежит проверке при осуществлении государственного контроля (надзора) в соответствующих сферах общественных отношений;

– изменение или принятие новых законов, обеспечивающих систематизацию обязательных требований и исключение установления изъятий из гражданских прав на подзаконном уровне;

– введение в действие новых норм, содержащих актуализированные требования, разработанные с учетом риск-ориентированного подхода и современного уровня технологического развития.

Основными принципами «регуляторной гильотины» являются:

– принцип наименьшего регуляторного воздействия (то есть система регулирования должна быть направлена только на те объекты, на которых могут возникнуть социально-значимые риски);

– принцип одного контролирующего органа (то есть в отношении одного обязательного требования государственный или муниципальный контроль (надзор) может осуществляться только одним контрольно-надзорным органом и в рамках только одного вида контроля (надзора);

– принцип научно-технической обоснованности (обязательные требования должны соответствовать современному уровню технологического развития и учитывать международный опыт);

– принцип риск-ориентированности (требования к объекту должны учитывать социально-значимые риски и должны быть направлены на их снижение);

– принцип открытости и консенсуса с подконтрольными субъектами (система регулирования базируется на предварительном обсуждении с сообществом и должна быть им в целом акцептована);

– принцип выполнимости (не допускается установление обязательных требований, которые заведомо не будут или не могут соблюдаться);

– принцип борьбы только с внешними рисками (система регулирования должна быть нацелена на искоренение или на снижение рисков причинения ущерба жизни и здоровью людей, а также предотвращение нанесения значительного материального, экологического, социального и иного подобного ущерба. Не допускается контроль за рисками внутрихозяйственной деятельности, коммерческими, управленческими или иными подобными рисками в деятельности предпринимателя, то есть теми видами деятельности, которые напрямую не оказывают влияния на охраняемые государством ценности. Не допускается контроль за качеством продукции (работ, услуг) сверх того, что необходимо для обеспечения безопасности этой продукции (работ, услуг);

– принцип приоритета законодательного уровня регулирования (принципы и общие положения государственного регулирования, принципы установления обязательных требований должны содержаться в законе. Установление обязательных требований на подзаконном уровне допустимо только в случае, когда включение таких требований в законодательный акт невозможно либо нецелесообразно);

– принцип соразмерности (ответственность за нарушение обязательного требования должна быть соразмерна рискам, на искоренение или снижение которых направлено обязательное требование).

«Дорожной картой» по реализации «регуляторной гильотины» сформулирована новая целевая структура нормативного регулирования в Российской Федерации. Основные составляющие данной структуры приведены на рис. 4.



Рис. 4. Целевая структура нормативного регулирования в Российской Федерации



Кроме того, Минэкономразвития России разработало проект нового закона о государственном и муниципальном контроле и надзоре [4]. Вновь вводимый закон должен заменить действующий Федеральный закон от 26 декабря 2008 г. № 294-ФЗ «О защите прав юридических лиц и индивидуальных предпринимателей при осуществлении государственного контроля (надзора) и муниципального контроля» [14] и стать основой для создания новой, «с нуля», отрасли законодательства.

Систему контроля России ожидает полная «перезагрузка». Ниже приведем содержание ряда основных новаций «надзорного кодекса» [4]:

- часть видов надзора будет осуществляться в отдельном, своем собственном, порядке (как и сейчас);

- все обязательные требования, которые оформлены актами Правительства Российской Федерации, министерств и ведомств, принятыми до 1 января 2021 г., – перестанут быть предметом контроля (аналогично, с актами, принятыми в СССР и РСФСР);

- без изменений остается риск-ориентированная система;

- все должностные лица всех надзорных органов, осуществляющие надзор/контроль, будут именоваться одинаково – инспекторы;

- произойдет разделение контрольно-надзорных действий и контрольно-надзорных мероприятий, появятся понятия «профилактического сопровождения», «профилактического визита»;

- основания для надзорных мероприятий остаются примерно теми же, но вместо применяемой сейчас формулировки, связанной с угрозой или причинением вреда жизни, здоровью и прочим ценностям, предложена такая: «наличие достаточных достоверных данных, свидетельствующих о нарушении обязательных требований»;

- расширяется перечень надзорных мероприятий;

- инспектора можно не допустить к проведению мероприятия по ряду причин;

- все виды надзора будут занесены в специальный реестр, проверки могут быть только по видам надзора, внесенным в реестр;

- все сведения о контрольных мероприятиях должны оперативно появляться в едином реестре проверок;

- у каждого индивидуального предпринимателя и юрлица будет собственный электронный личный кабинет – вероятно, в рамках портала контрольно-надзорной деятельности. Через кабинет можно будет, в том числе, передавать документы в надзорный орган;

- по окончании проверки контролируемое лицо получит не только акт, предписание и протокол об административном правонарушении (как сейчас), но и рекомендации по соблюдению обязательных требований.

Идея «регуляторной гильотины» вызвала бурные дискуссии в обществе. В частности, неоднозначно отнесся к этой идее Российский союз промышленников [15].

По данным газеты «Коммерсант» [16], несколько ведомств (Минюст, Минфин, ФСБ, Росгвардия, ФАС) попросили освободить их от действия «регуляторной гильотины».

Закономерно, что не остался в стороне от этого процесса и Ростехнадзор. Он подготовил законопроект в сфере промышленной безопасности, который представлен на портале нормативно-правовых актов [17].

Несмотря на необходимость реформирования контрольно-надзорной деятельности, реализация «регуляторной гильотины» несет в себе не только положительные аспекты, но и вызывает много вопросов.

Так, в представленных проектах документов отсутствуют классификация и методики определения социально-значимых рисков для целей регулирования и критерии, определяющие тяжесть возможных последствий.

«Регуляторная гильотина» предполагает принцип выполнимости, то есть не допускается установление обязательных требований, которые заведомо не будут или не могут соблюдаться. При реализации этого принципа на практике требуется особая

осторожность, так как это позволит убрать из закона или подзаконного акта «неудобные» для выполнения требования.

В «дорожной карте» отсутствуют какие-либо механизмы, позволяющие оценить и классифицировать по тяжести последствий внешние риски, а также степень «значительности» причиняемого ущерба жизни и здоровью людей.

Согласно предлагаемой классификации обучение и повышение квалификации работника является внутренним риском и исключается из поля регулирования предприятия. А ведь именно от уровня квалификации персонала во многом зависит безопасность производства или предприятия в целом.

В «дорожной карте» по реализации «регуляторной гильотины» ничего не говорится о внесении изменений или разработке вновь нормативно-технических документов, устанавливающих технические требования, правила, общие принципы и характеристики, касающиеся продукции, определенных видов деятельности или их результатов.

Исходя из информации, приведенной выше, можно сделать вывод о том, что предлагаемые механизмы и процедуры «регуляторной гильотины» включают многочисленные риски, связанные, прежде всего, с необходимостью пересмотра и гармонизации между собой и с международными стандартами большого количества нормативно-правовых актов и нормативно-технических документов. При этом пересмотр заключается не просто в их переиздании, а в полной переработке, включающей в себя и риск-ориентированный подход.

Учитывая, что принятие закона «О промышленной безопасности» предусматривается в 2021 г., необходимо определить минимальный перечень основных документов, которые напрямую касаются деятельности по эксплуатации опасных производственных объектов и напрямую влияют на обеспечение промышленной, пожарной и иной безопасности, а так же установить переходные периоды для их постепенного внедрения.

### **Литература**

1. Медведев Д.А.: выступление в программе «Диалог» в эфире канала 11.09.2019 // Канал Россия 24. URL: <https://www.vesti.ru/doc.html?id=3188125> (дата обращения: 14.09.2019).

2. О техническом регулировании: Федер. закон от 27 дек. 2002 г. № 184-ФЗ. Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».

3. Методика исполнения плана мероприятий («Дорожной карты») по реализации механизма «регуляторной гильотины». Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».

4. Проект надзорного кодекса. Доступ из инф.-правового портала «Гарант».

5. Регуляторная политика в России: основные тенденции и архитектура будущего / А.Е. Голодникова [и др.]; под ред. М.О. Комина. М., 2018.

6. Ткаченко Н. Статистический анализ федерального законодательства. М.: Центр стратегических разработок, 2017.

7. Статистика законодательного процесса // Государственная дума. URL: <http://www.gosduma.net/legislative/statistics/> (дата обращения: 13.09.2019).

8. Информационно-правовая система «Законодательство России». URL: <http://pravo.gov.ru> (дата обращения 13.09.2019).

9. Стандарты и регламенты // Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии. URL: <https://www.gost.ru/> (дата обращения: 13.09.2019).

10. Отчет об итогах деятельности Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии в 2018 году // Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии. URL: <https://www.gost.ru/documentManager/rest/file/load/1555336347628> (дата обращения: 13.09.2019).

11. Инвентаризация и развитие нормативной технической базы строительства: доклад // Федеральный центр нормирования, стандартизации и технической оценки соответствия в строительстве. URL: <https://faufcc.ru/technical-regulation-in-constuction/doklad.php> (дата обращения: 13.09.2019).

12. Перечень поручений по реализации Послания Президента Федеральному Собранию от 20 февраля 2019 года // Президент России. URL: <http://www.kremlin.ru/acts/assignments/orders/59898> (дата обращения: 13.09.2019).

13. Об обеспечении выполнения отдельных поручений по выполнению Послания Президента России Федеральному Собранию, направленных на реализацию механизма «Регуляторной гильотины» // Правительство России. URL: <http://government.ru/orders/selection/404/36938/> (дата обращения: 13.09.2019).

14. О защите прав юридических лиц и индивидуальных предпринимателей при осуществлении государственного контроля (надзора) и муниципального контроля: Федер. закон от 26 дек. 2008 г. № 294-ФЗ. Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».

15. Право.RU. 2019. URL: <https://pravo.ru/news/209822/> (дата обращения: 14.09.2019).

16. Газета «Коммерсантъ». 2019. URL: <https://www.kommersant.ru/doc/4013526> (дата обращения: 14.09.2019).

17. Единый портал нормативно-правовых актов Российской Федерации. 2019. URL: <http://regulation.gov.ru/projects#npra=92266> (дата обращения: 14.09.2019).

## **ПРИМЕНЕНИЕ ОПОРНО-УПОРНЫХ ПОДШИПНИКОВ СКОЛЬЖЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН ОТКРЫТОГО ИСПОЛНЕНИЯ В МОРСКОЙ ВОДЕ**

**Ю.В. Рева, кандидат военных наук, доцент.  
Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России**

Статья посвящена рассмотрению технических требований к подшипникам скольжения из металлокерамики, работающих в морской воде и жидких агрессивных средах. Изложен технологический процесс изготовления вкладышей из порошкового материала.

*Ключевые слова:* погружные электрические машины, погружные электрические двигатели, керамические подшипники, порошковые материалы

## **APPLICATION OF THRUST BEARINGS OF ELECTRIC MACHINES OF OPEN EXECUTION IN SEA WATER**

Yu.V. Reva. Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia

The article is devoted to the consideration of technical requirements for sliding bearings made of cermet, working in seawater and liquid aggressive media. The article describes the technological process of manufacturing inserts from powder material.

*Keywords:* submersible electric machines, submersible electric motors, ceramic bearings, powder materials

Основным назначением уже разработанных электрических машин, используемых в морской воде, является применение их в качестве приводов различных механизмов и гребных винтов глубинных подводных аппаратов и буровых платформ.

В настоящее время в погружных электродвигателях, работающих в морской воде, нашли широкое применение отечественные подшипники из углеграфитовых материалов с малым износом, достаточно низким коэффициентом трения, высокой теплостойкости и теплопроводности, повышенной коррозионной стойкости, причем в условиях смазывания водой или другими агрессивными жидкостями углеродистые материалы пропитывают различными металлами, например оловом, свинцом, баббитом и др. Графитовые подшипники, пропитанные металлами, могут работать при удельном давлении до 20 кгс/кгс/см<sup>2</sup>, линейных скоростях до 7–8 м/с, температуре до 250 °С.

В настоящее время существуют углеродистые материалы, которые пропитаны смолами-углепластиками. Для углепластиков общим является высокое содержание порошковых углеродистых наполнителей, а также смол горячего отверждения в качестве связующего. Например, в углепластиках марок АМС-1 и АМС-3 связующим является эпоксикремний-органическая смола, а в углепластике марки АФ-3Т – резольная фенолоформальдегидная смола. Подшипники из указанных углепластиков могут работать в морской воде при удельных давлениях до 35 кгс/кгс/см<sup>2</sup> и линейных скоростях до 15 м/с. Коэффициент трения для вкладышей из углеродистых материалов и углепластиков после приработки со скользящей парой из термообработанной стали марки 40Х13 находится в пределах 0,06–0,12.

Для работы в агрессивных жидких сферах, в том числе морской воде, нашли широкое применение фторопластовые и металлофторопластовые подшипники, вкладыши которых изготавливаются методом холодного прессования из порошковых фторопластов марки Ф-4 или Ф-40, композиции Ф-4КГО или графитопласта 7В-2А. Химическая стойкость указанных фторопластов чрезвычайно велика, они имеют относительно низкий коэффициент трения (0,02–0,04) при достаточной износостойкости и широкий диапазон рабочих температур (от –10 °С до +250 °С). Фторопластовые подшипники со смазкой морской водой работают при удельном давлении до 40 кгс/см<sup>2</sup> и линейных скоростях до 7 м/с, причем подшипники могут работать при более высоких удельных давлениях, тогда допустимые линейные окружные скорости резко снижаются до 1 м/с.

Подшипники из силицированного графита выполняются радиальными и осевыми в отдельности, пары трения которых изготавливаются в виде колец или втулок. Подвижная часть этих подшипников изготавливается из термообработанной стали. Данные подшипники обладают высокой твердостью, позволяющей работать в морской воде при наличии взвешенных частиц песка, малым коэффициентом трения (0,06+0,09). В сильно загрязненных средах, например при течении грунтовых вод, в которых большое количество песка, коэффициент трения увеличится до 0,16. Подшипники обладают малым износом в чистых агрессивных средах. Однако эти подшипники имеют ряд существенных недостатков, а именно: обладают повышенной хрупкостью, выдерживают только малые ударные нагрузки и т.д.

В связи с развитием порошковой металлургии как в нашей стране, так и за рубежом, появились новые типы подшипников из порошковых композиционных материалов, скользящая пара которых состоит из неподвижной части (вкладыша), выполненной из металлокерамики, и подвижной части (втулки) – из высокопрочной стали. В настоящее время широкое распространение получили пористые вкладыши подшипников из металлических порошков, являющихся металлокерамической основой самосмазывающихся подшипников. Технология изготовления порошковых вкладышей: просев порошков, перемешивание, прессование, спекание деталей, пропитка металлокерамики самосвязующим материалом, калибровка и вторая пропитка по необходимости.

При производстве пористых металлокерамических подшипников используют железографиты марок ЖГр1, ЖГр3 и бронзографит БГр4. Эти подшипники работают с ограниченной смазкой при удельных нагрузках до 100 кгс/см<sup>2</sup> и линейных скоростях 0,1–0,4 м/с. Металлокерамическую основу для того, чтобы придать ей скользящие смазывающие свойства, кроме добавления графита, легирующих веществ (серы, цинка и др.), пропитывают минеральными маслами, пластмассами и металлами (свинцом). Для работы

на воздухе пропитывают маслом, для работы в агрессивных жидких средах (щелочах, кислотах и т.д.) – фторопластом. Пористость при этом составляет 20–40 %, коэффициент трения находится в пределах 0,04–0,07. При рабочей температуре до 100 °С – пропитка маслом, до 160 °С – фторопластом.

Известны также подшипники, вкладыши которых изготавливаются для больших скоростей вращения до 40 000 об/мин из порошковой оловянистой бронзы. При указанной частоте вращения удельная нагрузка составляет 2–6 кгс/см<sup>2</sup>, относительно малый коэффициент трения 0,04–0,013, малый внутренний диаметр вкладыша 0,8–1,6 см, смазка осуществляется машинным маслом. Химический состав: основа – оловянная бронза (медь *Cu*, олово *Sn*), легирующие (фосфор *P*, графит *C*, дисульфид молибдена *MoS<sub>2</sub>*), предназначенные для обеспечения сухого трения.

Описанные выше подшипники в настоящий момент не отвечают требованиям, предъявляемым к ним при больших ресурсах работы по механическим, ударным, антифрикционным и антикоррозионным характеристикам и гидролитической стойкости к морской воде, которая является не только охладителем, но и электролитом, находящимся в движении с большими линейными скоростями внутри машины от вращения ротора, а также обладающей большой химической активностью, наличием биоорганизмов и различных взвешенных инородных частиц.

Минимальный коэффициент трения, высокая износостойкость, высокая стойкость к электрохимической, биологической коррозии являются основными требованиями, предъявляемыми ко всем антифрикционным материалам для морской воды.

Коэффициент трения не зависит от площади трения или геометрических размеров вкладышей, а зависит от физико-механических свойств порошкового материала. Сила трения определяется нагрузкой на вкладыши или ротором машины. Так как вкладыши после изготовления подвергаются механической обработке, прогонке по шейке вала под соответствующий рабочий зазор скольжения, то коэффициент трения отличается от первоначального коэффициента трения, определенного на машине трения. Определение геометрических размеров, расчет характеристик металлокерамических подшипников производят по известным апробированным методикам для подшипников сухого трения, не требующих углеводородных смазок. Морская вода не обладает смазывающими антифрикционными свойствами, она является только хорошим охладителем. Исходя из этого, определим коэффициент трения подшипников с вкладышами из порошковых материалов.

Полная поверхность трения контакта, равная площади проекции трущихся поверхностей подшипников сухого трения, определяется выражением:

$$S = \frac{N}{\sigma},$$

где  $N$  – нагрузка подшипника, кгс;  $\sigma$  – предел текучести на сжатие, кгс/см<sup>2</sup>.

При отсутствии вкладышей из порошкового материала его можно заменить вкладышем из углепластика марки УГЭТ-Т на основе углеткани или марки ФУТ на основе углеволокна. Параметры подшипников из углепластиков приближаются к параметрам вкладышей из порошков, за исключением коэффициента трения, который в два раза выше и будет равняться  $f_t = 0,06–0,08$  [2].

Металлы в чистом виде или их сплавы не обладают комплексом необходимых свойств, поэтому при создании материала для вкладышей методом порошковой металлургии за основу принимаются дешевые и доступные сплавы. Для создания металлокерамики, работающей в морской воде, берутся оловянисто-никелевые и оловянисто-свинцовые бронзы. Необходимые свойства основе придаются дополнительным легированием и введением антифрикционных и антикоррозионных присадок, при выборе этих присадок преследуется

цель получения определенных физико-химических свойств, от которых зависит несущая способность подшипников.

Введение в состав материалов графита, сульфидов, серы, селенидов, олова, свинца и т.п. позволяет достичь определенного схватывания поверхностей и создать материалы с высокими антифрикционными свойствами и малым коэффициентом трения. Коррозионную стойкость медным сплавам дает никель, водяную смазку обеспечивает графит, сухую смазку – дисульфиды вольфрама, молибдена или диселениды вольфрама и молибдена, обеспечивающие работу подшипников на воздухе при повышенной рабочей температуре при сухом трении до 300 °С.

Объемная прочность спеченных порошковых материалов и несущая способность подшипников при больших скоростях трения зависит от плотности и легирования спрессованных порошковых материалов, а также от технологии процесса прессовки, спекания, пропитки и калибровки заготовок.

Легирование оловом и никелем увеличивает несущую способность подшипников, а удельное давление при прессовке порошков повышает плотность вкладышей, при этом давление находится в пределах 5–8 т/см<sup>2</sup>. Таким образом, с учетом изложенного и тщательного изучения и анализа состава бронз и легирующих элементов, исходя из требований к гидrolитической коррозионной стойкости материалов, а также с учетом электродных потенциалов элементов по наименьшей разности потенциалов, между ними был подобран порошковый состав вкладышей металлокерамических подшипников для морской воды и отработана технология их изготовления, отвечающая техническим требованиям по антифрикционным, антикоррозионным, механическим и другим характеристикам [3].

Комплексное исследование свойств материалов и натуральные испытания в морской среде показали, что для улучшения трубомеханических характеристик и удовлетворения требований необходимо изготовить вкладыши с плотностью до 99 % методом горячей штамповки, при этом при окончательной калибровке увеличить давление прессовки до 8 т/см<sup>2</sup>.

Предприятия порошковой металлургии нашей страны могут изготовить вкладыши подшипников диаметром в пределах 150–200 мм при горячей штамповке давлением до 8 т/см<sup>2</sup>. Подшипники с такими вкладышами не позволяют изготовить электродвигатель мощностью более 100 кВт.

Для больших мощностей и габаритов электрических машин разработаны конструкции вкладышей металлокерамических подшипников, состоящих из набора одинаковых секторов, собирающихся в кольца, при этом улучшается охлаждение подшипников и повышается их надежность.

### **Литература**

1. Ветехин В.И. Опорно-упорные металлокерамические подшипники скольжения для глубоководных аппаратов // Судостроение. 2009.
2. Молчанов В.П., Соколов Ю.И. Риски чрезвычайных ситуаций в Арктической зоне Российской Федерации. М.: ФГБУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ), 2011.
3. Постников И.М. Проектирование электрических машин. М.: Машиностроение, 2006.

# К ВОПРОСУ СНИЖЕНИЯ РИСКОВ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ОТКАЗОВ В ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ СПЕЦИАЛЬНЫХ ОБЪЕКТОВ

**А.М. Астанков;**

**В.М. Моторин, кандидат технических наук, доцент.**

**Военно-космическая академия им. А.Ф. Можайского.**

**А.В. Вагин, кандидат технических наук, доцент.**

**Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России**

Сформулированы требования к разрабатываемому аппарату контроля и диагностирования технических систем специальных объектов с целью снижения рисков возникновения отказов. Проанализированы подходы к управлению техническим состоянием, которые позволяют решать проблемы поддержания работоспособного состояния технических систем. Определены основные особенности структуры и применения технических систем объектов специального назначения, существенные для анализа их технического состояния. Обоснована необходимость разработки и внедрения системы управления техническим состоянием исследуемых систем. Проведен анализ существующих подходов к диагностированию технических систем. Обоснован выбор функционально-логического моделирования в качестве основы для разработки системы диагностирования технических систем.

*Ключевые слова:* техническое диагностирование, техническая система, надежность системы, специальные объекты, функционально-логическое моделирование

## ON THE ISSUE OF REDUCING THE RISK OF FAILURES IN TECHNICAL SYSTEMS OF SPECIAL OBJECTS

A.M. Astankov; V.M. Motorin. Mozhaisky military space academy.

A.V. Vagin. Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia

The requirements for the developed device for monitoring and diagnosing technical systems of special objects in order to reduce the risks of errors are formulated. Approaches to technical condition management that allow solving problems of maintaining the functional state of technical systems are analyzed. The main features of the structure and application of technical systems of special-purpose objects that are essential for the analysis of their technical condition are determined. The necessity of developing and implementing a system for managing the technical condition of the studied systems is justified. The analysis of existing approaches to diagnostics of technical systems is carried out. The choice of functional and logical modeling as a basis for developing a system for diagnosing technical systems is justified.

*Keywords:* technical diagnostics, technical system, system reliability, special objects, functional and logical modeling

Создание и развитие ракетно-космической техники является выдающимся достижением человечества, позволяющим проводить исследования и освоение космического пространства. Решение всех задач, выполняемых в космическом пространстве, начинается на космодромах, в состав которых входят специальные объекты (СО). В свою очередь, СО состоят из множества различных сооружений и систем, среди которых важное место занимают технические системы, предназначенные для создания и поддержания условий нормального функционирования технологического оборудования, зданий и сооружений и жизнедеятельности обслуживающего персонала.

Важнейшая роль, которая отводится СО, определяет высокие требования к устойчивости и согласованности процессов функционирования всех систем данных комплексов. Отказ одной из них создает предпосылки к срыву выполнения задач по предназначению. С целью недопущения этого на ряде объектов промышленности к настоящему времени функционируют системы мониторинга и управления инженерными системами зданий и сооружений. Требования к данным системам регламентируются целым рядом нормативно-правовых актов [1, 2]. Основной задачей данных систем является предупреждение различного рода чрезвычайных ситуаций путем контроля множества рабочих процессов [3].

Основным недостатком использования данных систем в качестве источника информации о состоянии технических систем (ТхС) СО является отсутствие технической возможности выявления постепенных отказов оборудования. В случае несвоевременного обнаружения данного вида отказов они могут повлечь за собой полную потерю работоспособности того или иного элемента. Данная проблема объясняется отсутствием аппарата получения адекватной информации о техническом состоянии ТхС.

Для разрешения данного противоречия в работе предложен подход к оцениванию технического состояния (ТС) ТхС по параметрам основных рабочих процессов. Его основу составляет предложенная в данной статье модель контроля работоспособности.

### Постановка и решение задачи

Разработка модели контроля работоспособности производится на основе априорных сведений о закономерностях функционирования ТхС в работоспособном состоянии. При этом математическое описание ТхС как системы в целом, характеризующейся входными и выходными переменными различной физической природы, необходимо выполнять на основе методов, которые позволяют использовать числовые реализации данных переменных для определения зависимостей между ними. К таким методам относятся методы параметрической и непараметрической статистики.

При наличии представительной обучающей выборки о функционировании объекта в работоспособном состоянии целесообразно использовать методы параметрической статистики [4], как значительно более простые в методологическом и вычислительном отношении. В этом случае для определения значений контролируемых параметров (КП) в работоспособном состоянии объекта необходимо установить зависимости изменения выходных переменных  $y_j$  (координат нормированных наблюдаемых состояний) от входных воздействий  $u_i$ , которые также нормированы. В общем виде данные зависимости можно представить как:

$$y_j = \hat{f}(U_{<l>}), j = \overline{1, n}. \quad (1)$$

Наиболее распространенным и отработанным методом параметрической статистики является метод регрессионного анализа [5]. Но применение указанного метода для задания зависимостей (1) в явной форме правомерно лишь в том случае, если распределение значений КП в работоспособном состоянии объекта соответствует нормальному закону [6]. Как известно, закон распределения суммы независимых случайных величин при неограниченном увеличении числа слагаемых приближается к нормальному, если случайные величины, входящие в сумму, имеют дисперсию одного и того же порядка и конечные математические ожидания. Это означает, что удельный вес каждого слагаемого стремится к нулю при увеличении числа слагаемых [7]. В то же время в работоспособном состоянии на ТхС воздействует множество различных независимых факторов, среди которых нет явно преобладающих над остальными. Это может служить основанием для принятия гипотезы о нормальном законе распределения значений КП, условием правомерности которой является адекватность синтезируемых зависимостей. Для каждого КП синтезируются многофакторные регрессионные зависимости вида:



$$y_{0j} = b_0 + \sum_{r=1}^{l_1} b_r u_r + F(u_1, u_2, \dots, u_r) + \varepsilon, j = \overline{1, n_1}, \quad (2)$$

где  $y_{0j}$  – нормированное (вычисленное) значение координаты вектора контролируемых переменных;  $u_r, r = \overline{1, l_1}$  – определяющие факторы уравнения регрессии (входные переменные объекта);  $F(u_1, u_2, \dots, u_r)$  – нелинейная часть уравнения;  $b_r = \overline{0, l_1}$  – коэффициенты регрессии;  $\varepsilon$  – остаточная случайная компонента.

Как известно из статистического анализа [6], уравнения регрессии строятся либо в виде комбинации различных элементарных функций (степенных, экспоненциальных, тригонометрических, логарифмических), либо в виде алгебраических полиномов различных степеней (которые также являются самыми простыми комбинациями элементарных функций – степеней аргумента).

Уравнения в виде алгебраических полиномов имеют преимущество по сравнению с уравнениями в виде комбинаций элементарных функций по следующим причинам:

1. Любую функцию, непрерывную и ограниченную на замкнутом интервале, можно с неограниченной степенью точности приближать алгебраическим полиномом  $k$  степени (Теорема Вейерштрасса о приближении [3]). Чем сложнее функция, тем выше потребуется степень полинома  $k$ .

Применительно к задачам контроля работоспособности ТхС в качестве таких функций рассматриваются зависимости контролируемых признаков от входных переменных. Явный вид этих функций неизвестен в силу сложностей описания процессов в ТхС. Именно поэтому они аппроксимируются уравнениями регрессии. Данные функции можно рассматривать как непрерывное по причине инерционности процессов в ТхС и, как следствие, отсутствия различных скачков контролируемых признаков при изменении режима функционирования ТхС. Кроме того, функции являются ограниченными, поскольку любой контролируемый признак ТхС может изменяться в ограниченном диапазоне.

Таким образом, выполняются все математические условия для обеспечения адекватного описания процессов функционирования ТхС в работоспособном состоянии уравнениями регрессии в виде алгебраических полиномов.

2. Проверка адекватности уравнения регрессии экспериментальным данным по критерию Фишера (как наиболее полная и всесторонняя проверка) возможна только в том случае, если оно имеет вид алгебраического полинома. Это объясняется возможностью вычисления числа степеней свободы, при которых определяется оценка остаточной дисперсии, только для уравнения в виде алгебраического полинома. Исходя из вышеизложенного, построение многофакторных регрессионных зависимостей (2) в случае, например, алгебраического полинома второй степени имеет вид:

$$F(u_1, u_2, \dots, u_l) = b_{12}u_1u_2 + b_{13}u_1u_3 + \dots + b_{l_1-1}u_{l_1-1}u_l + b_{11}u_1^2 + b_{22}u_2^2 + b_{l_1l_1}u_{l_1}^2.$$

Таким образом, в рамках данной работы все регрессионные зависимости строятся в виде алгебраических полиномов контролируемых признаков от входных параметров. С учетом выражения (2) целевая функция регрессионного анализа методом наименьших квадратов имеет вид:

$$R = \min_{b_j \in \mathbb{R}} \left\{ \sum_{i=1}^s \left( y_{ij} - \left( b_0 + \sum_{r=1}^{l_1} b_r u_{ir} + F(u_{i1}, u_{i2}, \dots, u_{i7}) \right) \right)^2 \right\}.$$

Из данного уравнения определяются средние значения  $y_{0j}$  (оценки математического ожидания) контролируемых признаков в работоспособном состоянии объекта. Указанные значения могут интерпретироваться как координаты точки, которая перемещается в  $n_1$ -мерном евклидовом пространстве под действием входных переменных. Таким образом, в модели учитываются любые изменения входных воздействий.

Далее относительно средних значений, которые получены из уравнений (2), выделяются допустимые интервалы  $[y_{0j}^H, y_{0j}^B]$ . В зависимости от условий целевого применения объекта указанные интервалы могут быть различными. В совокупности они образуют область работоспособного состояния в  $n_1$ -мерном евклидовом пространстве. Данная область также перемещается под действием входных переменных, поскольку все интервалы задаются относительно координат подвижной точки. Исходя из этого, очевидно, что предлагаемый подход дает возможность производить контроль ТС объекта на любых режимах функционирования в процессе применения его по назначению.

Объект считается работоспособным, если установлено, что все КП соответствуют допустимым пределам, то есть выполняется условие:

$$\bigcap_{j=1}^{n_1} (y_j \in [y_{0j}^H, y_{0j}^B]).$$

Данное условие однозначно определяет в  $n_1$ -мерном евклидовом пространстве гиперплоскость, которая отделяет области работоспособного и неработоспособного состояний. Невыполнение условия (3) рассматривается как количественное задание критерия отказа.

Для определения допустимых интервалов изменения контролируемых признаков:

$$\Delta_j = [y_{0j}^H; y_{0j}^B], j = \overline{1, n_1}$$

разработана методика, основанная на анализе обучающей выборки по работоспособному состоянию ТхС и свойств нормального распределения ( $y_{0j}^H$  – предельно допустимое нижнее значение  $j$ -го контролируемого признака в работоспособном состоянии,  $y_{0j}^B$  – предельно допустимое верхнее значение  $j$ -го контролируемого признака в работоспособном состоянии). Данная методика позволяет задавать любые соотношения между доверительной вероятностью попадания допустимых значений КП в область работоспособного состояния и величиной интервала  $\Delta_j$ , а также определять его нижнюю  $y_{0j}^H$  и верхнюю  $y_{0j}^B$  границы.

Теоретические основы предлагаемой методики базируются на следующем:

1. Любому интервалу, заданному относительно каждой координаты  $y_{0j}$ , соответствует определенная доверительная вероятность  $P_d$  попадания в этот интервал значений  $j$ -го контролируемого признака работоспособного объекта. Эта вероятность определяется из соотношения:

$$P_d = \int_{y_{0j}^H}^{y_{0j}^B} f(y_j) dy_j,$$

где  $f(y_j)$  – плотность распределения значений  $j$ -го контролируемого признака.

2. Границы допустимых интервалов предлагается задавать через оценки среднеквадратических отклонений  $\sigma_j$  определяемых параметров соответствующих уравнений регрессии:

$$\begin{aligned} y_{0j}^H &= y_{0j} - k\sigma_j, \\ y_{0j}^B &= y_{0j} + k\sigma_j, \end{aligned} \quad (4)$$

где  $y_{0j}$  – оценка математического ожидания контролируемого параметра;  $\sigma_j$  – среднеквадратическое отклонение для  $j$ -го контролируемого признака;  $k$  – коэффициент, определяющий величину интервала допустимого изменения контролируемых признаков.

Тогда модель контроля работоспособности технических систем специальных объектов может быть представлена в виде графической схемы, приведенной на рисунке. Она состоит из следующих шагов.

1. Определяются значения оценок математических ожиданий (МО) для каждого контролируемого признака (2).

2. Определяются значения среднеквадратических отклонений (СКО) для данных контролируемых признаков.

3. Задается требуемый уровень достоверности правильного определения технического состояния элементов контролируемой системы.

4. Вычисляется теоретическое значение коэффициента, определяющего величину интервала допустимого изменения контролируемых признаков (4).

5. Проверяется выполнение условия (3). В случае его выполнения система является работоспособной, а в случае невыполнения следует переходить к поиску отказавшего элемента.

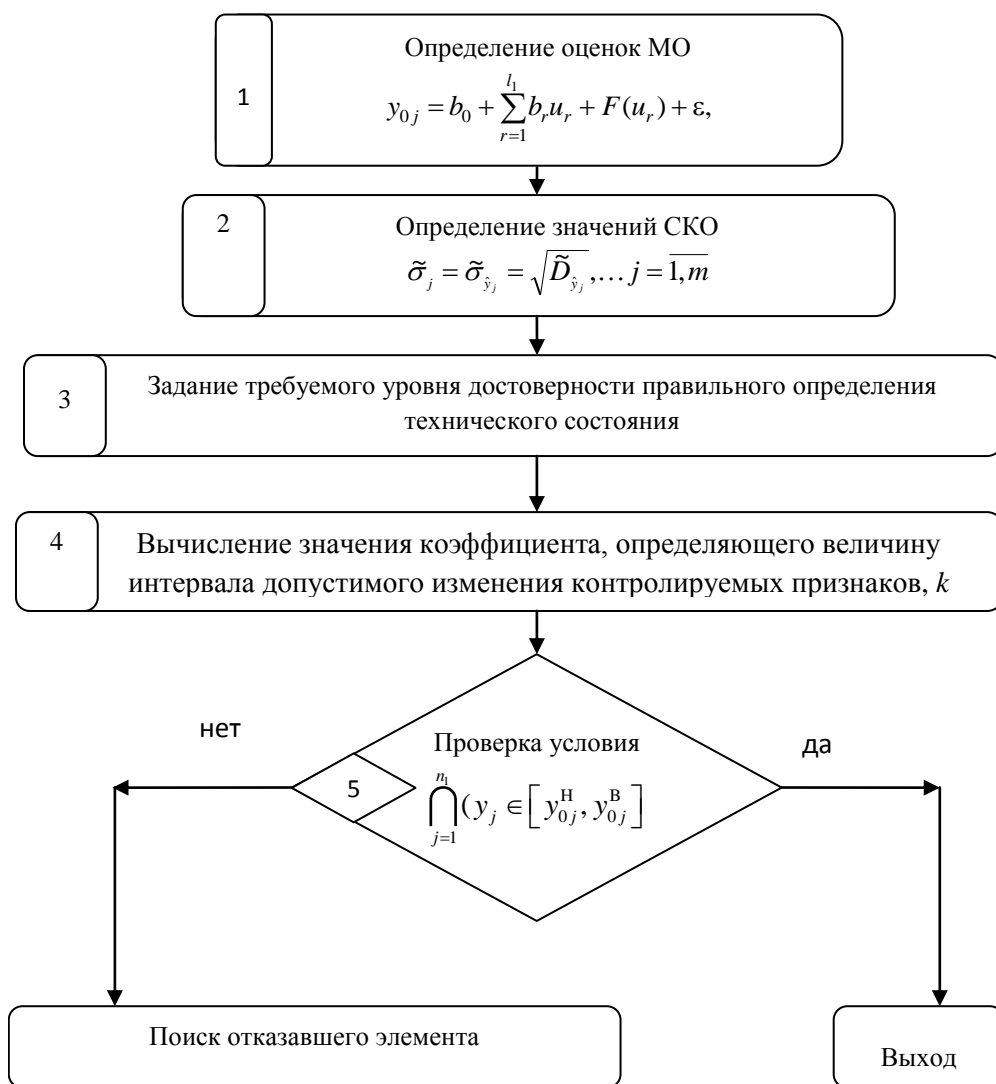


Рис. Блок-схема методики задания величины допустимых интервалов изменения контролируемых признаков

Таким образом, изложенный подход к построению математической модели контроля работоспособности ТхС позволяет осуществлять контроль ее функциональной пригодности без задания в явном виде агрегированного состояния неработоспособного ТхС.

Современное состояние ТхС СО и существующая система их эксплуатации осложняют выполнение задач по обеспечению необходимых условий функционирования технологического оборудования. Указанные обстоятельства ведут к отказам основного технологического оборудования. В сложившейся ситуации необходима разработка и внедрение системы эксплуатационных мероприятий, которая позволяла бы поддерживать требуемый уровень готовности ТхС к применению и безотказности в процессе эксплуатации. Для этого должны быть решены задачи получения необходимой информации о техническом состоянии ТС.

Одна из важнейших особенностей состоит в том, что разработка математического обеспечения контроля работоспособности ТхС сопровождается необходимостью преодоления факторов сложности его построения и функционирования, а также неопределенности информации о закономерностях изменения ТС. Поэтому следует применять методы, позволяющие осуществлять моделирование при наличии ограниченного объема неоднородной априорной информации и в целом адекватно отображать свойства ТхС, существенные для анализа технического состояния.

В рамках предложенного методического подхода предусматривается инвариантность математического обеспечения к физической природе компонентов входных и выходных процессов ТС.

Данный подход к математическому обеспечению контроля работоспособности может быть использован при разработке и внедрении автоматизированных систем диагностирования ТхС объектов специального назначения.

### **Литература**

1. ГОСТ Р 22.1.12–2005. Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Структурированная система мониторинга и управления инженерными системами зданий и сооружений. Общие требования // ЭЛЕКТРОННЫЙ ФОНД правовой и нормативно-технической документации. URL: <http://www.docs.cntd.ru> (дата обращения: 08.12.2019).

2. ГОСТ Р 22.1.13–2013. Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Мероприятия по гражданской обороне, мероприятия по предупреждению чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера. Структурированная система мониторинга и управления инженерными системами зданий и сооружений. Требования к порядку создания и эксплуатации // ЭЛЕКТРОННЫЙ ФОНД правовой и нормативно-технической документации. URL: <http://www.docs.cntd.ru> (дата обращения: 08.12.2019).

3. Сеньченков В.И. Модели, методы и алгоритмы анализа технического состояния. Saarbrücken: Lambert acad. publ., 2013. 377 с.

4. Управление техническим состоянием динамических систем / А.И. Буравлев [и др.]; под общ. ред. И.Е. Казакова. М.: Машиностроение, 1995. 240 с.

5. Формирование комплектов средств метрологического обеспечения с учетом критерия приспособленности технологического оборудования к диагностированию / М.Н. Ерофеев [и др.] // Все материалы. Энциклопедический справочник. 2012. № 11. С. 11–16; № 12. С. 18–27.

6. Васильев-Южин Р.М., Гацак П.М., Голованов А.И. Разработка алгоритмического обеспечения параметрического диагностирования судовых ДВС // Двигателестроение. 1984. № 1. С. 43–46.

7. Некрасов И.Н., Бужков С.Н., Сеньченков В.И. Анализ методов технического диагностирования систем вентиляции и кондиционирования воздуха зданий и сооружений технической позиции РКК и перспективы их развития // Современные проблемы улучшения тактико-технических характеристик ракетно-космической техники, ее создания, испытаний и эксплуатации: труды Всерос. науч.-практ. конф. СПб.: ВКА им. А.Ф. Можайского, 2014. С. 43–47.

---

---

# ПОЖАРНАЯ И ПРОМЫШЛЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

---

---

## О ПОКАЗАТЕЛЯХ РЕЗУЛЬТАТИВНОСТИ МОБИЛЬНЫХ УСТАНОВОК ПОЖАРОТУШЕНИЯ

**М.Р. Сытдыков, кандидат технических наук, доцент;**

**А.Г. Шилов;**

**А.С. Поляков, доктор технических наук, профессор,  
заслуженный деятель науки Российской Федерации.**

**Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России**

Представлены перечень и структура комплексных показателей результативности установок пожаротушения, влияющих на процесс подачи огнетушащих веществ в очаг пожара. Рассмотрена комплексная оценка результативности установок пожаротушения мобильных энергетических средств с учетом их технических параметров.

*Ключевые слова:* пожарные автомобили, пожарные надстройки, технические параметры,  $\pi$ -теорема, анализ размерностей, оценка, универсальная установка пожаротушения

## ABOUT PERFORMANCE INDICATORS OF MOBILE FIRE FIGHTING INSTALLATIONS

M.R. Sytdykov; A.G. Shilov; A.S. Polyakov.

Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia

The list and structure of complex indicators of efficiency of fire extinguishing installations influencing process of giving of fire extinguishing substances in the fire center are presented. A comprehensive assessment of the effectiveness of mobile power equipment with regard to their technical parameters is considered.

*Keywords:* fire trucks, fire superstructures, technical parameters,  $\pi$ -theorem, dimension analysis, evaluation, universal fire extinguishing system

Целью данной статьи является возможность прогнозирования результативности установок пожаротушения (УПТ) мобильных энергетических средств (МЭС) по обобщающим показателям на основе метода аналогии. Аналогами УПТ МЭС являются пожарные надстройки пожарных автомобилей (ПА), которые имеют внешнее и внутреннее сходство [1].

Согласно ГОСТ Р 53249–2009 [2] для тушения пожаров в городах и других населенных пунктах, нефтебазах, предприятиях лесоперерабатывающей, химической, нефтехимической промышленности, в аэропортах и на других специальных объектах предназначены основные ПА общего и целевого применения.

Пожарная надстройка, или УПТ ПА, представляет собой совокупность смонтированных на базовом шасси емкостей для огнетушащих веществ (ОТВ), специальных агрегатов и коммуникаций для подачи ОТВ, отсеков кузова для размещения пожарно-технического вооружения [3].

Проблема комплексной оценки результативности УПТ ПА не нова. Так в работах [4, 5] для оценки технической эффективности автоцистерн и ПА порошкового тушения применен подход, основанный на общепризнанных закономерностях теории анализа размерностей.

Номенклатура параметров ПА, представленная в ГОСТ Р 53249–2009 [6], насчитывает большое количество единичных показателей, что не позволяет объективно оценить их результативность.

Для решения этой проблемы авторами проведен анализ единичных показателей основных ПА с целью выборки технических параметров УПТ, влияющих на процесс подачи ОТВ в очаг пожара (табл. 1).

Таблица 1. **Перечень основных технических параметров УПТ, влияющих на процесс подачи ОТВ в очаг пожара**

| Название величины                            | Символ    | Единицы измерения    |
|--|-----------|----------------------|
| Полная масса надстройки                      | $M$       | кг                   |
| Вместимость цистерны для воды                | $V_{ц}$   | $м^3$                |
| Вместимость бака для пенообразователя        | $V_б$     | $м^3$                |
| Масса порошка                                | $M_п$     | кг                   |
| Масса огнетушащего газа                      | $M_г$     | кг                   |
| Подача насоса при номинальном числе оборотов | $Q_н$     | $м^3/с$              |
| Напор насоса при номинальном числе оборотов  | $H_н$     | м                    |
| Рабочее давление в баллонах                  | $P$       | $кг/(м \cdot с^2)$   |
| Расход ОТВ                                   | $Q_{отв}$ | $м^3/с$              |
| Дальность подачи ОТВ                         | $L_{отв}$ | м                    |
| Мощность двигателя                           | $N$       | $(м^2 \cdot кг)/с^3$ |
| Удельный расход топлива                      | $D$       | $с^2/м^2$            |
| Время подачи ОТВ                             | $\tau$    | с                    |

На основе общеизвестного метода анализа размерностей и  $\pi$ -теоремы [7, 8] для оценки результативности УПТ авторами получены безразмерные комплексные показатели процесса подачи ОТВ в очаг пожара (табл. 2).

Таблица 2. **Безразмерные показатели оценки результативности транспортируемой УПТ**

| Обобщенные показатели   | Отношение единиц измерения показателей | Техническая сущность показателей                  |
|---|--|---|
| 1   | 2                                      | 3   |
| $\pi_1 = \frac{V_{ц} \cdot N^{3/7}}{M^{3/7} \cdot Q_н^{9/7}}$ | $[\pi_1] = \frac{м}{м}$                | Удельный объем транспортируемой воды              |
| $\pi_2 = \frac{V_б \cdot N^{3/7}}{M^{3/7} \cdot Q_н^{9/7}}$   | $[\pi_2] = \frac{м}{м}$                | Удельный объем транспортируемого пенообразователя |
| $\pi_3 = \frac{M_п}{M}$                                       | $[\pi_3] = \frac{кг}{кг}$              | Удельная результативная масса порошка             |
| $\pi_4 = \frac{M_г}{M}$                                       | $[\pi_4] = \frac{кг}{кг}$              | Удельная результативная масса газа                |
| $\pi_5 = \frac{H_н \cdot N^{1/7}}{M^{1/7} \cdot Q_н^{3/7}}$   | $[\pi_5] = \frac{м}{м}$                | Удельная подача насоса                            |

| 1   | 2   | 3  |
|---|---|--|
| $\pi_6 = \frac{L_{\text{отв}} \cdot N^{1/7}}{M^{1/7} \cdot Q_{\text{н}}^{3/7}}$   | $[\pi_6] = \frac{\text{м}}{\text{м}}$   | Удельная<br>результативная<br>дальность подачи ОТВ |
| $\pi_7 = \frac{P \cdot Q_{\text{н}}}{N}$  | $[\pi_7] = \frac{(\text{м}^2 \cdot \text{кг})/\text{с}^3}{(\text{м}^2 \cdot \text{кг})/\text{с}^3}$ | Удельная<br>результативная<br>мощность УПТ         |
| $\pi_8 = \frac{Q_{\text{отв}}}{Q_{\text{н}}}$   | $[\pi_8] = \frac{\text{м}^3/\text{с}}{\text{м}^3/\text{с}}$   | Удельный<br>результативный расход<br>ОТВ           |
| $\pi_9 = \frac{D \cdot N^{4/7} \cdot Q_{\text{н}}^{2/7}}{M^{4/7}}$  | $[\pi_9] = \frac{\text{с}^2/\text{м}^2}{\text{с}^2/\text{м}^2}$                                     | Удельный расход<br>топлива                         |
| $\pi_{10} = \frac{\tau \cdot N^{3/7}}{M^{3/7} \cdot Q_{\text{н}}^{2/7}}$  | $[\pi_{10}] = \frac{\text{с}}{\text{с}}$  | Удельное время подачи<br>ОТВ                       |
| Комплексный показатель  | Физическая сущность комплексного показателя   |  |
| $\pi_{11} = \frac{\pi_1}{\pi_2} = \frac{V_{\text{ц}}}{V_6}$   | Удельный объем жидких ОТВ   |  |
| $\pi_{12} = \frac{\pi_3}{\pi_4} = \frac{M_{\text{п}}}{M_{\text{г}}}$  | Удельная масса аэрозольных ОТВ  |  |
| $\pi_{13} = \frac{\pi_6}{\pi_5} = \frac{L_{\text{отв}}}{H_{\text{н}}}$  | Удельная дальность подачи ОТВ<br>при номинальном напоре насоса                                      |  |
| $\pi_{14} = \frac{\pi_1 \cdot \pi_7}{\pi_{10}} = \frac{P \cdot V_{\text{ц}}}{\tau \cdot N}$   | Удельная энергия подачи ОТВ в очаг пожара   |  |
| $\pi_{15} = \frac{\pi_1 \cdot \pi_5}{\pi_9} = \frac{V_{\text{ц}} \cdot H_{\text{н}}}{D \cdot Q_{\text{н}}^2}$   | Удельный расход жидких ОТВ  |  |
| $\pi_{\text{пож.надст.}} = \frac{\pi_{13} \cdot \pi_{15}}{\pi_{11} \cdot \pi_{12} \cdot \pi_{14}} =$<br>$= \frac{P \cdot V_{\text{ц}} \cdot M_{\text{г}} \cdot V_6 \cdot L_{\text{отв}}}{\tau \cdot N \cdot D \cdot M_{\text{п}} \cdot Q_{\text{н}}^2}$ | Результативная работа пожарной надстройки   |  |

Согласно представленным данным в табл. 2 и работы [9], можно сделать вывод, что наилучшему из сравниваемых образцов УПТ должно соответствовать большее численное значение обобщенного комплекса или симплекса, определяющее результативность процесса подачи ОТВ из УПТ основных ПА в очаг пожара, их функциональное назначение и работоспособность.

Для решения задачи по оценке результативности УПТ основных ПА с помощью комплексных показателей (табл. 2) авторами изучена эксплуатационно-конструкторская документация порядка 50 ПА, выпускаемых промышленностью (по семь автомобилей каждого типа основных ПА), и определены численные значения основных технических параметров УПТ, влияющих на процесс подачи ОТВ в очаг пожара.

Для простоты восприятия этих данных в табл. 3 представлены численные усредненные значения основных технических параметров УПТ современных основных ПА.

Таблица 3. Усредненные значения технических параметров пожарных надстроек основных ПА

| Технические параметры  | АЦ                    | АПП                    | ПСА                   | АП                 | АПТ                 | АКТ                      | АГТ                 |
|--|-----------------------|------------------------|-----------------------|--------------------|---------------------|--------------------------|---------------------|
| Полная масса надстройки ( $M$ ), кг  | 10218                 | 1851                   | 7555                  | 10713              | 11295               | 9962                     | 6568                |
| Вместимость цистерны для воды ( $V_{ц}$ ), м <sup>3</sup>  | 4,20                  | 0,48                   | 2,96                  | –                  | –                   | 3,5                      | –                   |
| Вместимость бака для пенообразователя ( $V_{б}$ ), м <sup>3</sup>  | 0,27                  | 0,04                   | 0,23                  | –                  | 5,95                | 1,56                     | –                   |
| Масса возимого порошка ( $M_{п}$ ), кг   | –                     | –                      | –                     | 4383               | –                   | 1067                     | –                   |
| Масса огнетушащего газа ( $M_{г}$ ), кг  | –                     | –                      | –                     | –                  | –                   | –                        | 1683                |
| Подача насоса при номинальном числе оборотов ( $Q_{п}$ ), л/с  | 40                    | 7,5                    | 40                    | –                  | 48                  | 40                       | –                   |
| Напор насоса при номинальном числе оборотов ( $H_{п}$ ), м   | 100                   | 414                    | 100                   | –                  | 100                 | 100                      | –                   |
| Рабочее давление в баллонах ( $P$ ), МПа   | –                     | –                      | –                     | 0,8                | –                   | 1,1                      | –                   |
| Расход ОТВ из ручных стволов ( $Q_{отв}$ ):<br>по воде, л/с<br>по пене, л/с<br>по порошку, кг/с<br>по газу, кг/с | 7,4<br>0,36<br>–<br>– | 4,8<br>3,24<br>–<br>–  | 7,4<br>0,36<br>–<br>– | –<br>–<br>5,0<br>– | –<br>0,36<br>–<br>– | 7,4<br>0,36<br>7,2<br>–  | –<br>–<br>–<br>2,0  |
| Дальность подачи ОТВ ( $L_{отв}$ ), м:<br>по воде<br>по пене<br>по порошку<br>по газу                            | 32,0<br>8,0<br>–<br>– | 20,3<br>12,5<br>–<br>– | 32,0<br>8,0<br>–<br>– | –<br>–<br>8,0<br>– | –<br>8,0<br>–<br>–  | 32,0<br>8,0<br>10,2<br>– | –<br>–<br>–<br>10,0 |
| Мощность двигателя ( $N$ ), кВт  | 193,2                 | 97,4                   | 187,3                 | 160,0              | 188,2               | 177,2                    | 110,7               |
| Удельный расход топлива ( $D \cdot 10^{-5}$ ), с <sup>2</sup> /м <sup>2</sup>                                    | 1,02                  | 0,95                   | 0,93                  | 0,57               | 1,18                | 1,44                     | 1,45                |
| Время подачи ОТВ ( $\tau$ ), с   | 567,6                 | 64,7                   | 399,8                 | 891,5              | 16455,2             | 1009,8                   | 1240,0              |

Примечание: АЦ – автоцистерна; АПП – автомобиль первой помощи; ПСА – пожарно-спасательный автомобиль; АП – пожарный порошковый автомобиль; АПТ – пожарный автомобиль пенного тушения; АКТ – автомобиль комбинированного тушения; АГТ – пожарный автомобиль газового тушения

Проведенный анализ показал, что рассмотренные пожарные надстройки ПА обладают не всеми основными техническими параметрами, заявленными в табл. 1. Поэтому не представляется возможным определить численные значения комплексных показателей, представленных в табл. 3, и оценить результативность УПТ (табл. 4).

Таблица 4. Численные значения комплексных показателей основных ПА

| № п/п | Комплексный показатель | АЦ    | АПП   | ПСА   | АП   | АПТ  | АКТ  | АГТ  |
|-------|------------------------|-------|-------|-------|------|------|------|------|
| 1     | $\pi_{11}$             | 15,95 | 11,05 | 14,59 | 0,00 | 0,00 | 6,80 | 0,00 |
| 2     | $\pi_{12}$             | 0,00  | 0,00  | 0,00  | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 3     | $\pi_{13}$             | 0,32  | 0,14  | 0,31  | 0,00 | 0,00 | 0,22 | 0,00 |



|   |                           |      |        |       |      |      |      |      |
|---|---------------------------|------|--------|-------|------|------|------|------|
| 4 | $\pi_{14} \cdot 10^5$     | 2,61 | 1,32   | 2,53  | 0,00 | 0,00 | 0,16 | 0,00 |
| 5 | $\pi_{15} \cdot 10^5$     | 8,13 | 576,45 | 20,17 | 0,00 | 0,00 | 6,84 | 0,00 |
| 6 | $\pi_{\text{пож.надст.}}$ | 0,00 | 0,00   | 0,00  | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |

На основании проведенного анализа единичных безразмерных комплексных показателей оценки результативности УПТ ПА сделан вывод о необходимости создания универсальных установок пожаротушения (УУПТ), работающих на всех видах ОТВ (жидкие, порошкообразные и газовые) в мобильном и стационарном (в виде стандартного контейнера) режимах.

В работах [10, 11] предложена конструкция и моделирование работы УУПТ на шасси автомобиля. Однако данная УУПТ способна работать только на жидких и твердых ОТВ, исключая огнетушащий газ.

Такое сочетание применения ОТВ на ПА, выпускаемых заводами-изготовителями, используется только автомобилем аэродромной технической службы ААТС-5-40-200-50 (53501) [12], который подобен рассмотренным ПА. Технические характеристики УПТ данного ПА приведены в табл. 5.

Таблица 5. Технические характеристики УПТ ААТС-5-40-200-50 (53501), определяющие процесс подачи ОТВ в очаг пожара

| Технические параметры   | ААТС-5-40-200-50 (53501) |
|---|--------------------------|
| Полная масса надстройки ( $M$ ), кг   | 8600                     |
| Вместимость цистерны для воды ( $V_{\text{ц}}$ ), м <sup>3</sup>              | 5                        |
| Вместимость бака для пенообразователя ( $V_6$ ), м <sup>3</sup>               | 0,3                      |
| Масса возимого порошка ( $M_{\text{п}}$ ), кг                                 | 200                      |
| Масса огнетушащего газа ( $M_{\text{г}}$ ), кг                                | 50                       |
| Подача насоса при номинальном числе оборотов ( $Q_{\text{н}}$ ), л/с          | 40                       |
| Напор насоса при номинальном числе оборотов ( $H_{\text{н}}$ ), м             | 100                      |
| Рабочее давление в баллонах ( $P$ ), МПа                                      | 1,2                      |
| Расход ОТВ из ручных стволов ( $Q_{\text{отв}}$ ):                            |                          |
| по воде, л/с  | 7,4                      |
| по пене, л/с  | 0,36                     |
| по порошку, кг/с  | 10,0                     |
| по газу, кг/с   | 2,5                      |
| Дальность подачи ОТВ ( $L_{\text{отв}}$ ), м:                                 |                          |
| по воде   | 32                       |
| по пене   | 8                        |
| по порошку  | 10                       |
| по газу   | 12                       |
| Мощность двигателя ( $N$ ), кВт   | 204                      |
| Удельный расход топлива ( $D \cdot 10^{-5}$ ), с <sup>2</sup> /м <sup>2</sup> | 1,02                     |
| Время подачи ОТВ ( $\tau$ ), с  | 675,8                    |

Оценка результативности УПТ ААТС-5-40-200-50 (53501) проведена путем подставления численных значений в выражения безразмерных комплексных показателей (табл. 2) и их решения (табл. 6).

Однако УПТ данного автомобиля не лишена недостатков:

- неравномерное количественное распределение трех видов ОТВ;
- невозможность использования цистерны для воды и бака для пенообразователя под огнетушащий порошок и газ, а также емкости для порошка и газа – под воду и пенообразователь;

– узкая область применения – проведение аварийно-спасательных работ и тушение самолетов.

Таблица 6. Численные значения комплексных показателей для УПТ ААТС-5-40-200-50 (53501)

| Комплексный показатель    | ААТС-5-40-200-50 (53501) |
|---------------------------|--------------------------|
| $\pi_{11}$                | 16,67                    |
| $\pi_{12}$                | 4,00                     |
| $\pi_{13}$                | 0,32                     |
| $\pi_{14} \cdot 10^5$     | 0,23                     |
| $\pi_{15} \cdot 10^5$     | 8,95                     |
| $\pi_{\text{пож.надст.}}$ | 5,35                     |

Для решения проблемы оценки результативности УПТ основных ПА необходимо разработать конструкцию УУПТ, учитывающую использование жидких, порошковых и газообразных ОТВ, применимо для МЭС и в стационарных условиях (например, в виде контейнера на площадках контейнерных терминалов и морских судах).

#### Литература

1. Пожарная техника: учеб. / под ред. М.Д. Безбородько. М.: Акад. ГПС МЧС России, 2004. 550 с.
2. ГОСТ Р 53247–2009. Техника пожарная. Пожарные автомобили. Классификация, типы и обозначения // Электронная база данных документов по пожарной безопасности (ЭБД НСИС ПБ). 2017. № 2. URL: [https://allgosts.ru/13/220/gost\\_r\\_53247-2009.pdf](https://allgosts.ru/13/220/gost_r_53247-2009.pdf) (дата обращения: 19.11.2019).
3. ГОСТ Р 53328–2009. Техника пожарная. Основные пожарные автомобили. Общие технические требования. Методы испытаний // Электронная база данных документов по пожарной безопасности (ЭБД НСИС ПБ). 2017. № 2. URL: [https://allgosts.ru/13/220/gost\\_r\\_53328-2009.pdf](https://allgosts.ru/13/220/gost_r_53328-2009.pdf) (дата обращения: 19.11.2019).
4. Дворников А.И. Метод комплексной оценки технических параметров качества пожарных автоцистерн: дис. ... канд. техн. наук. СПб., 2001. 145 с.
5. Маркова Н.Б. Методика комплексной оценки эффективности пожарных автомобилей порошкового тушения: дис. ... канд. техн. наук. СПб., 2016. 124 с.
6. ГОСТ Р 53248–2009. Техника пожарная. Пожарные автомобили. Номенклатура показателей // Электронная база данных документов по пожарной безопасности (ЭБД НСИС ПБ). 2017. № 2. URL: [https://allgosts.ru/13/220/gost\\_r\\_53248-2009.pdf](https://allgosts.ru/13/220/gost_r_53248-2009.pdf) (дата обращения: 19.11.2019).
7. Седов Л.И. Методы подобия и размерности в механике. 6-е изд., доп. М.: Наука, 1967. С. 428.
8. Бриджмен П. Анализ размерностей. Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2001. С. 148.
9. Маркова Н.Б., Филановский А.М., Поляков А.С. Комплексная оценка технической эффективности пожарных автомобилей порошкового тушения // Проблемы управления рисками в техносфере. 2014. № 3 (31). С. 17–24.
10. Универсальная установка пожаротушения: пат. 158632 Рос. Федерация, МПК А62С13/00 (2006.01). / Крылов Д.А., Сытдыков М.Р., Поляков А.С.; заявитель и патентообладатель Крылов Д.А., Сытдыков М.Р., Поляков А.С. – № 2015107592/12, заявл. 04.03.2015; опубл. 20.01.2016, Бюл. № 2. 2016.

11. Крылов Д.А. Конструкция и моделирование работы универсальной установки пожаротушения на шасси автомобиля: дис. ... канд. техн. наук. СПб.: СПб ун-т ГПС МЧС России, 2018. 97 с.

12. Автомобиль аэродромный технической службы. URL: [http://pozhtechnika.ru/spec\\_aats-50-40-200-50.php](http://pozhtechnika.ru/spec_aats-50-40-200-50.php) (дата обращения: 20.11.2019).

## **ОСОБЕННОСТИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ОПАСНЫХ ФАКТОРОВ ПОЖАРА В ПОДЗЕМНЫХ СТОЯНКАХ АВТОМОБИЛЕЙ**

**А.А. Таранцев, доктор технических наук, профессор,  
заслуженный работник высшей школы Российской Федерации.  
Институт проблем транспорта им. Н.С. Соломенко Российской академии наук.  
Г.Л. Шидловский, кандидат технических наук, доцент;  
Д.А. Поташев.  
Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России**

Дана краткая характеристика подземных автостоянок и тенденций их развития. Представлены результаты моделирования пожара в подземных стоянках автомобилей с помощью демо-версии программы PyroSim. Результаты имитации пожара отражены программой для визуализации Smokeview. Данные о критических значениях опасных факторов пожара отражены с помощью графиков функций, создаваемых PyroSim. Описаны особенности распространения опасных факторов пожара в подземных стоянках автомобилей, определены временные значения наступления наиболее распространенных опасных факторов пожара.

*Ключевые слова:* моделирование пожара, программа PyroSim, подземные стоянки автомобилей, опасные факторы пожара

## **FEATURES OF THE SPREAD OF FIRE HAZARDS IN UNDERGROUND PARKING LOTS**

A.A. Tarantsev. N.S. Solomenko institute of transport problems of the Russian academy of sciences.  
G.L. Shidlovsky; D.A. Potashev.  
Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia

The results of modeling a fire in underground parking lots using the demo version of the program PyroSim are presented. The results of the fire simulation are reflected by The Smokeview visualization program. Data on critical values of fire hazards are reflected using graphs of functions created by PyroSim. Features of distribution of dangerous factors of a fire in underground Parking of cars are described, time values of approach of the most widespread dangerous factors of a fire are defined.

*Keywords:* fire simulation, PyroSim program, underground parking, fire hazards

Современное градостроительство имеет две основные тенденции – строительство высотных зданий и комплексов и резкое увеличение транспортных средств, в основном легковых автомобилей. В обоих случаях возникает проблема автомобильных стоянок/паркингов [1, 2]. Не исключение и Санкт-Петербург, где с каждым годом увеличивается численность автотранспортных средств, в настоящее время их число не менее 2,0 млн, из них легковых автомобилей не менее 1,7 млн, в прогнозах на 2025 г. численность легковых автомобилей увеличится до 2,1 млн [3, 4]. Для решения проблемы парковок

автомобилей в Санкт-Петербурге специалисты НИПИИ ОАО «Ленметрогипротранс» подготовили специальные проекты [5].

Актуальность строительства подземных стоянок автомобилей не вызывает сомнения, поскольку для крупных мегаполисов проблема хранения автотранспорта на внеуличных территориях решается уже не одно десятилетие и существует большой мировой опыт позитивного решения данных задач, удобного для автомобилистов и пешеходов, и при этом коммерчески успешного [6].

По типу эксплуатации подземные стоянки автомобилей делятся на:

– классические рамповые паркинги – характеризуются простотой в эксплуатации, не требуют механизмов спуска/подъема транспортных средств, что обеспечивает максимальную скорость въезда/выезда автомобилей, обслуживаются минимальным количеством вспомогательного персонала [6];

– автоматизированные паркинги (боксы, цилиндры или паркинги карусельного типа) – основное преимущество – характеризуются использованием полностью подземного пространства без потерь, вызванных транзитными проездами и рампами, въезд/выезд автомобилей осуществляется с помощью механизмов спуска/подъема [6, 7].

Основные задачи, которые решают инженеры-проектировщики при подготовке проектов подземных стоянок автомобилей это: а) безопасность (как самого сооружения или части здания, так и обеспечение безопасности людей внутри), б) обеспечение удобства въезда/выезда, наличие и правильность функционирования инженерных систем и системы противопожарной защиты.

Особую опасность в подземных стоянках автомобилей представляют пожары транспортных средств. Они характеризуются быстрым ростом температуры, блокированием путей эвакуации из подземных сооружений, заполнением прилегающих наземных территорий и зданий токсичными продуктами горения, повреждением и возможным разрушением конструкций [8, 9].

Цель исследования – рассмотреть особенности распространения опасных факторов пожара (ОФП) при пожаре транспортного средства (модели легкового автомобиля) в подземной стоянке автомобилей на разных этажах, определение времени наступления критических значений ОФП.

## **Материалы и методы**

Для моделирования пожара легкового автомобиля в подземной стоянке автомобилей применялась демо-версия программы PyroSim. PyroSim – известное программным обеспечением для быстрой и точной работы с Fire Dynamics Simulator (FDS) [10]. PyroSim – это пользовательский интерфейс для программы FDS. Полевая модель FDS может предсказывать распространение дыма, температуры, угарного газа и других ОФП [11].

Результаты моделирования используются для обеспечения пожарной безопасности зданий при проектировании, определения пожарной безопасности существующих зданий, реконструкции пожаров при расследованиях, помощи в тренировках пожарных [12].

FDS – программа для моделирования пожара, разработанная Национальным институтом стандартов и технологий (National Institute of Standards and Technology (NIST) США. FDS моделирует сценарии пожара с использованием вычислительной гидродинамики (CFD), оптимизированной для низкоскоростных температурно-зависимых потоков. Расчетная модель FDS и программа для визуализации Smokeview встроены в PyroSim [12].

Программа PyroSim позволяет выполнить моделирование распространения ОФП по полевой модели [13], построить поля ОФП и определить время блокирования путей эвакуации. Модель соответствует «Методике определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и строениях различных классов функциональной пожарной опасности», в том числе на промышленных объектах (Методика расчетных величин пожарного риска), в соответствии с приказом МЧС России от 30 сентября 2009 г. № 382. PyroSim позволяет определить динамику ОФП в ключевых точках объекта (подземной автостоянки), построить и проанализировать графики и поля ОФП [10].

Критические значения ОФП определены Методикой расчетных величин пожарного риска (приложение 6 к п. 12 приказа МЧС России от 30 сентября 2009 г. № 382). Критическое время по каждому из ОФП определяется как время достижения этим фактором предельно допустимого значения на путях эвакуации на высоте 1,7 м от пола [14]. Исследование проводилось по наиболее распространенным ОФП:

- по повышенной температуре – не более 70 °С;
- по потере видимости – не более 20 м;
- по пониженному содержанию кислорода – не ниже 0,226 кг/м<sup>3</sup>;
- по содержанию диоксида углерода CO<sub>2</sub> – не более 0,11 кг/м<sup>3</sup>;
- по содержанию оксида углерода CO – не более 1,16·10<sup>-3</sup> кг/м<sup>3</sup> [14].

### Результаты и выводы

В программе PyroSim на основе одного из проектов смоделирована подземная стоянка автомобилей [15]. Подземная стоянка автомобилей имеет три этажа ниже планировочной отметки земли, геометрические размеры этажей: 41×18×3=2 214 м<sup>3</sup>. Первый этаж ближе всего к поверхности, второй этаж под ним, третий этаж под вторым этажом.

Размеры модели, замещающей реальный по размерам легковой автомобиль: длина 4,6 м; ширина 2 м; высота 1,75 м. Модель, имитирующая горящий легковой автомобиль, размещена вблизи одного из выходов (требование приказа МЧС России от 30 сентября 2009 г. № 382, п. 7 – имитация блокировки одного из путей эвакуации).

Общая масса горючих материалов одного легкового автомобиля примерно составляет 276 кг, пожарная нагрузка  $Q=10\ 365$  МДж [16].

Общее время моделирования 360 с, максимально допустимое время для эвакуации людей [14].

Изменение параметров пожара проводилось в три временных интервала 120 с, 240 с, 360 с, результаты расчетов отображаются с помощью элемента визуализации Smokeview, встроенного в PyroSim – рис. 1, 4 и 7. Динамика изменения ОФП перед эвакуационными выходами – лестничными клетками (ЛК) – на рис. 2, 3, рис. 5, 6 и рис. 8, 9 соответственно. Итоговые результаты расчетов сведены в таблице.

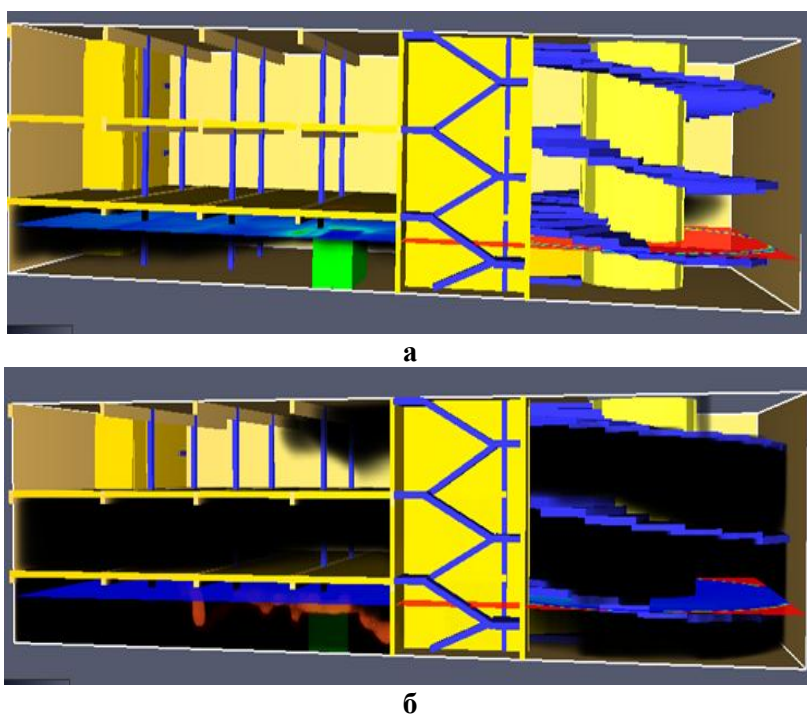


Рис. 1. Визуализация развития пожара легкового автомобиля на третьем этаже на 120 и 360 с (а и б соответственно)

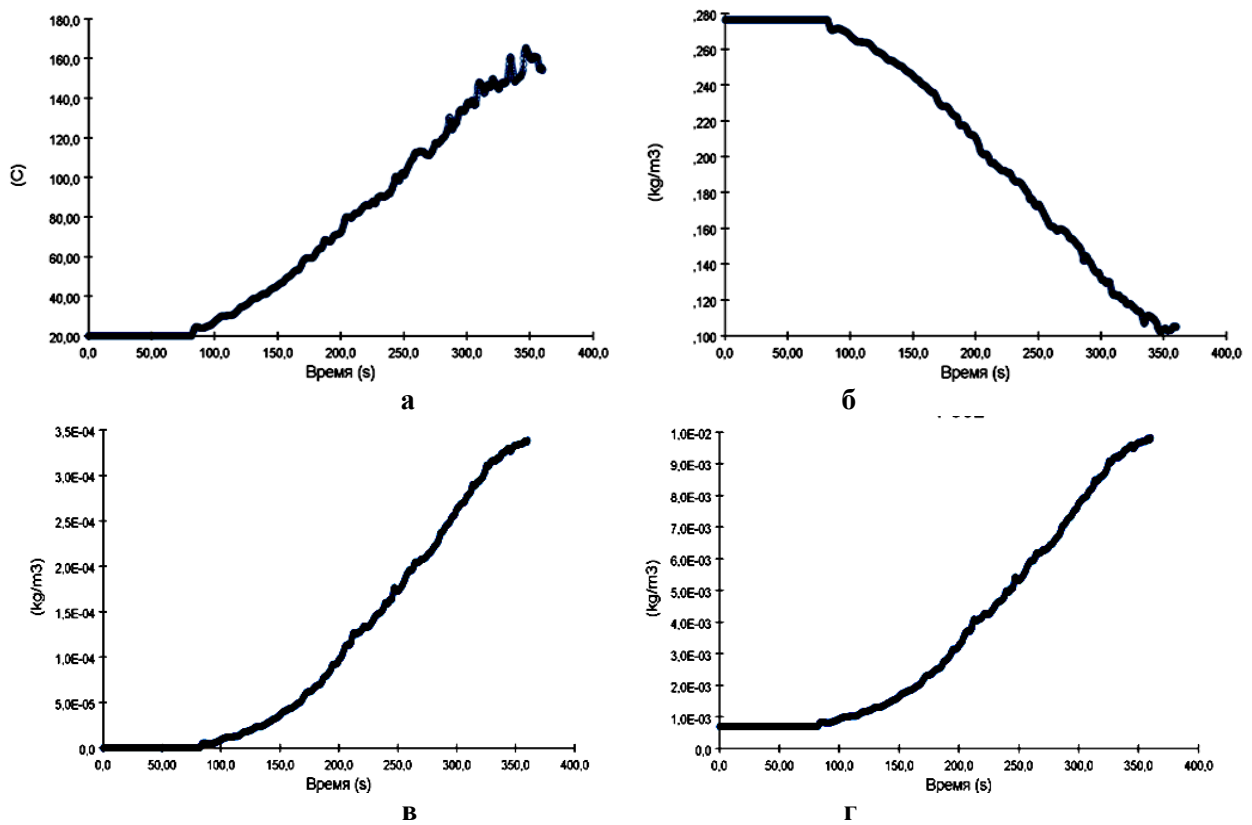


Рис. 2. Динамика ОФП при возгорании на третьем этаже – датчики размещены на расстоянии 3 м от очага пожара, непосредственно перед входом в ЛК № 1:  
 а) температура; б) концентрация O<sub>2</sub>; в) концентрация CO; г) концентрация CO<sub>2</sub>

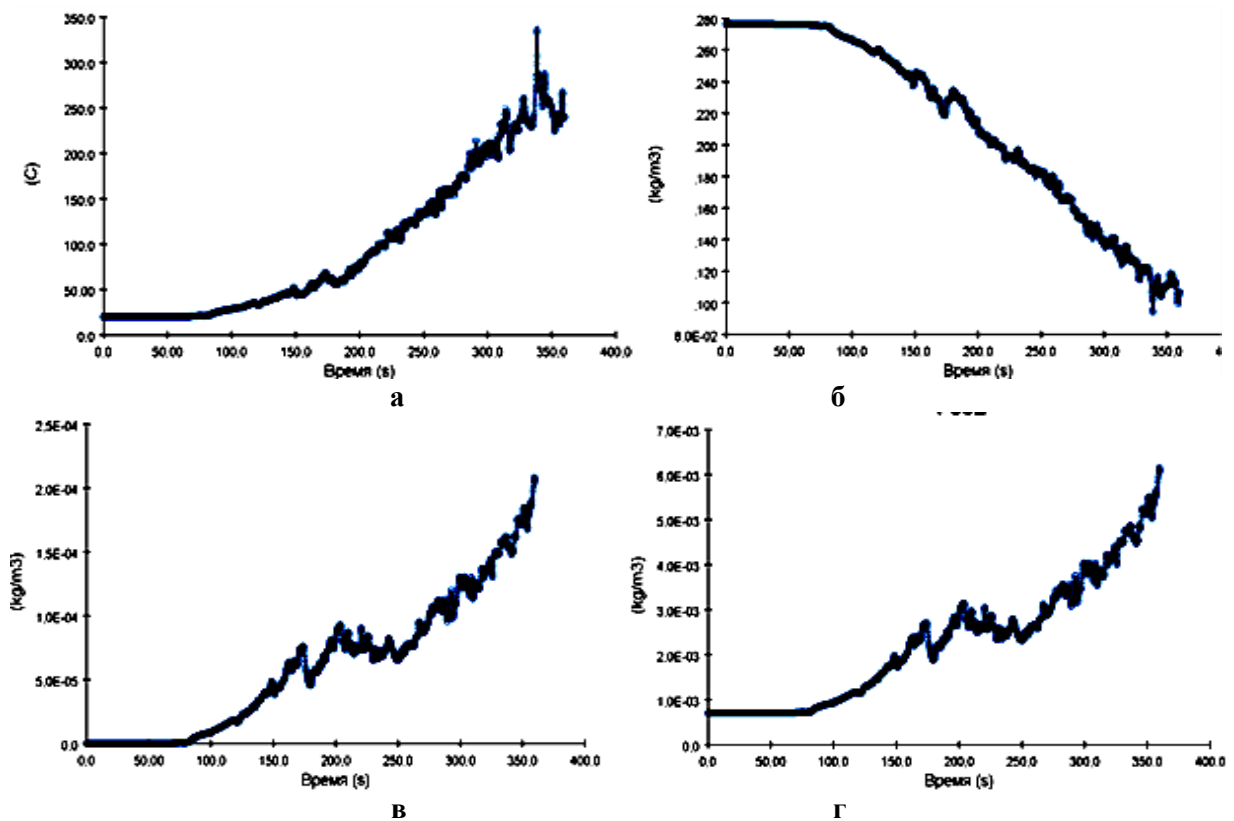
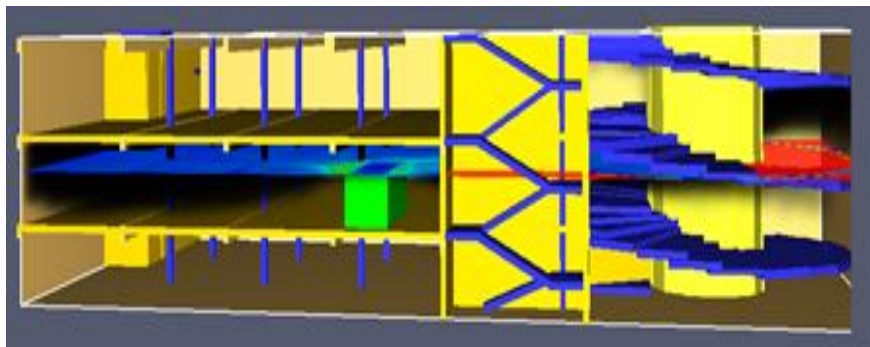
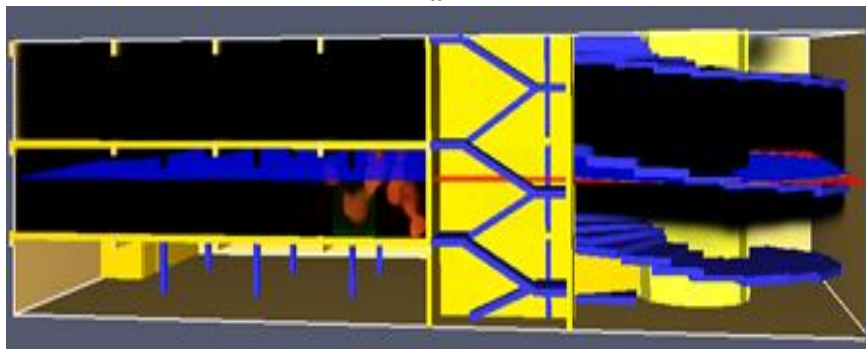


Рис. 3. Динамика ОФП при возгорании на третьем этаже – датчики размещены на расстоянии 14,75 м от очага пожара, непосредственно перед входом в ЛК № 2:  
 а) температура; б) концентрация O<sub>2</sub>; в) концентрация CO; г) концентрация CO<sub>2</sub>



а



б

Рис. 4. Визуализация развития пожара легкового автомобиля на втором этаже на 120 и 360 с (а и б соответственно)

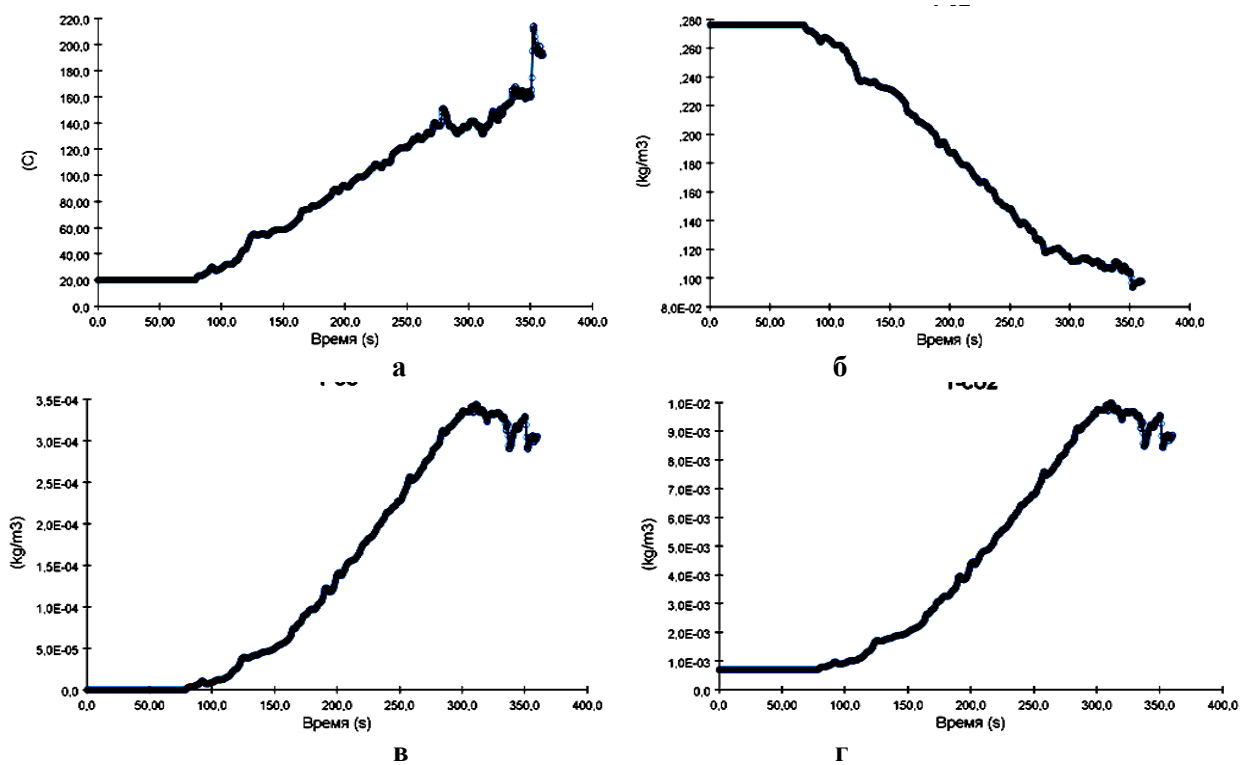


Рис. 5. Динамика ОФП при возгорании на втором этаже – датчики размещены на расстоянии 3 м от очага пожара, непосредственно перед входом в ЛК № 1:  
а) температура; б) концентрация  $O_2$ ; в) концентрация  $CO$ ; г) концентрация  $CO_2$

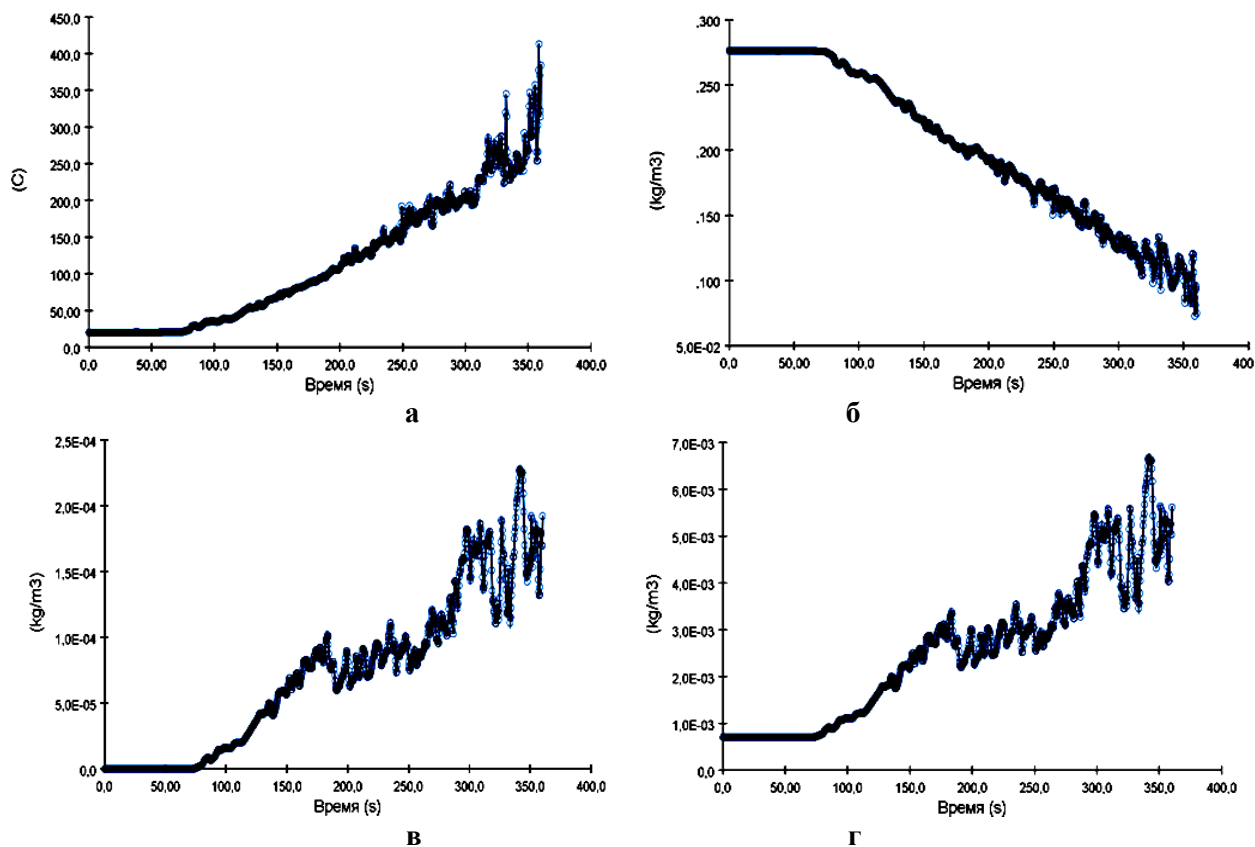


Рис. 6. Динамика ОФП при возгорании на втором этаже – датчики размещены на расстоянии 14,75 м от очага пожара, непосредственно перед входом в ЛК № 2:  
 а) температура; б) концентрация  $O_2$ ; в) концентрация  $CO$ ; г) концентрация  $CO_2$

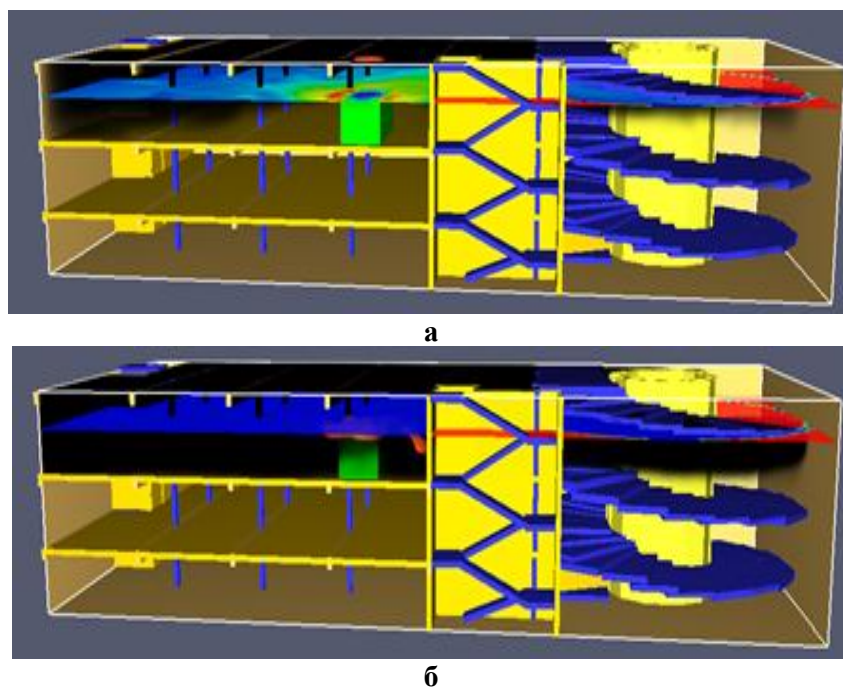


Рис. 7. Визуализация развития пожара легкового автомобиля на первом этаже на 120 и 360 с (а и б соответственно)



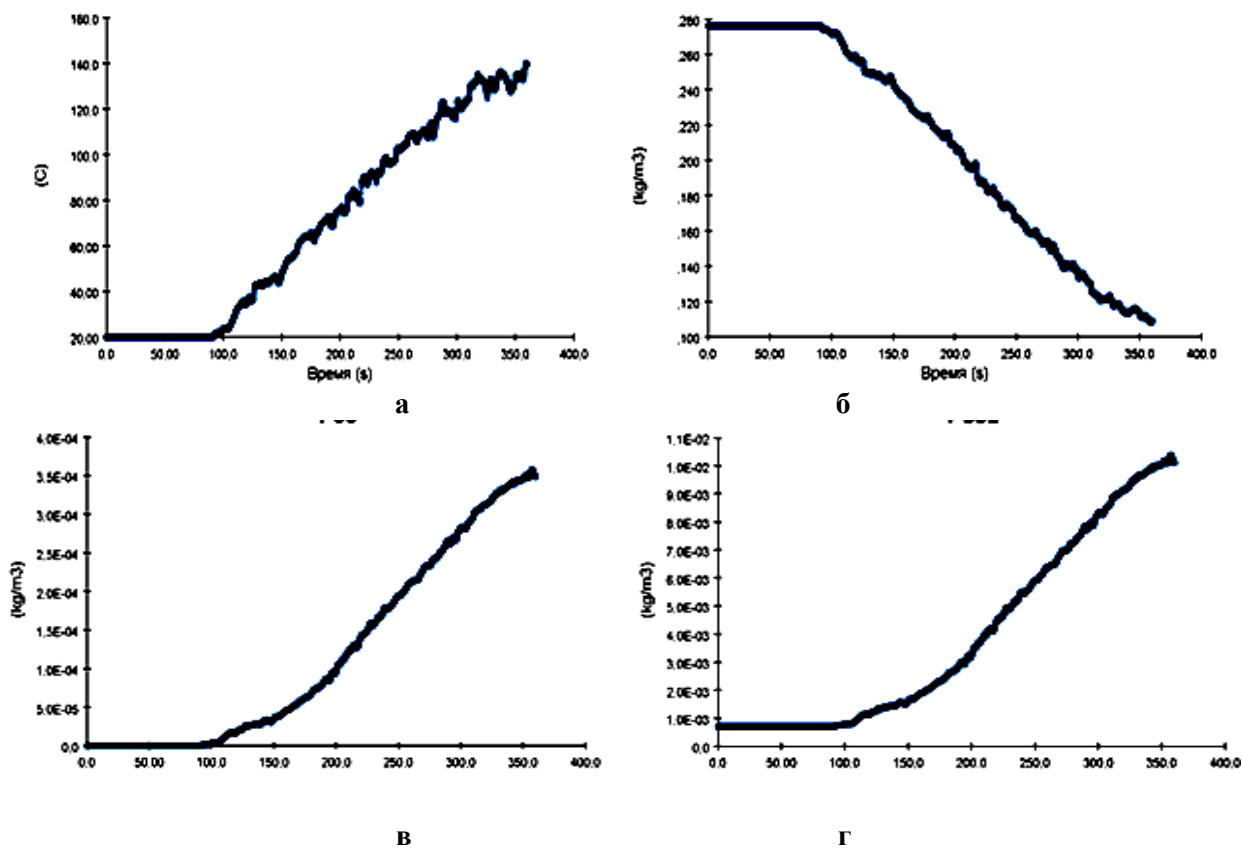


Рис. 8. Динамика ОФП при возгорании на первом этаже – датчики размещены на расстоянии 3 м от очага пожара, непосредственно перед входом в ЛК № 2:  
 а) температура; б) концентрация  $O_2$ ; в) концентрация  $CO$ ; г) концентрация  $CO_2$

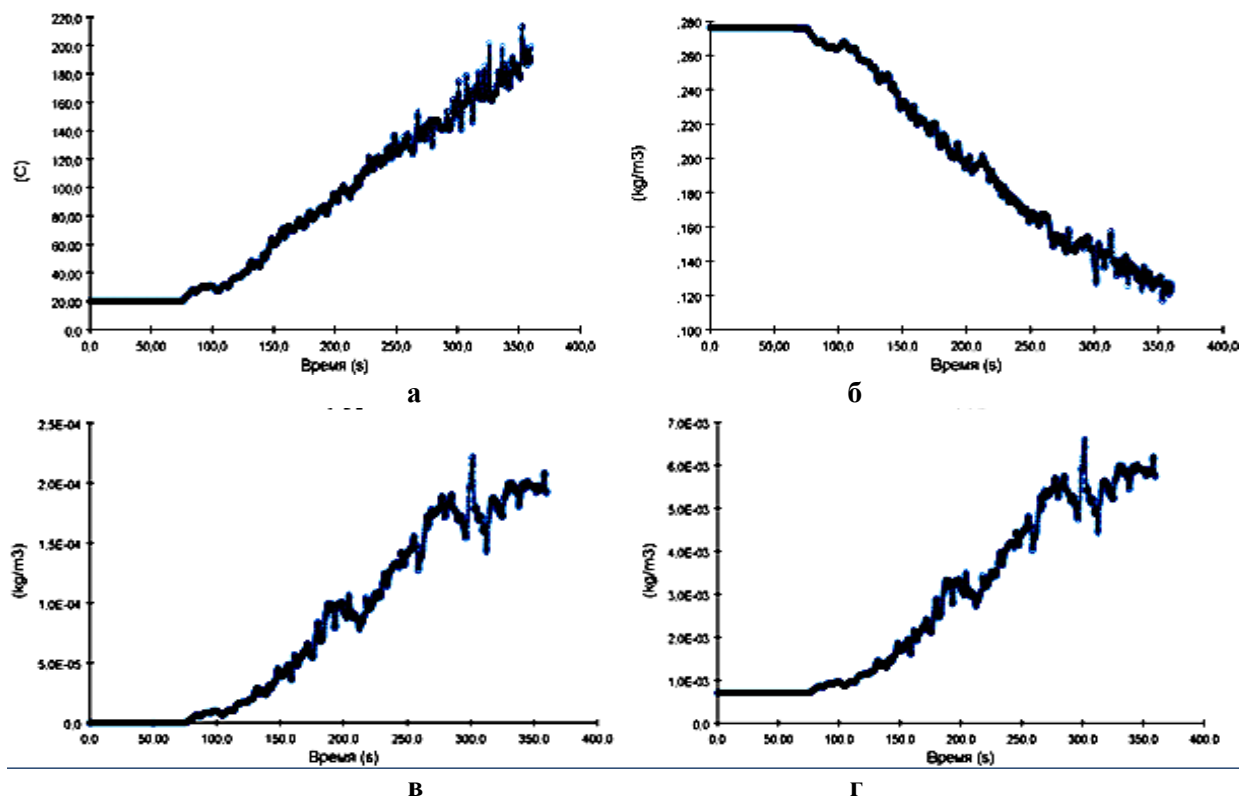


Рис. 9. Динамика ОФП при возгорании на первом этаже – датчики размещены на расстоянии 14,75 м от очага пожара, непосредственно перед входом в ЛК № 2:  
 а) температура; б) концентрация  $O_2$ ; в) концентрация  $CO$ ; г) концентрация  $CO_2$

Таблица. Результаты моделирования пожара на подземной автостоянке

| Этаж | Вид ОФП                    | Уровень ОФП, время достижения              |  |
|------|----------------------------|--|--|
|      |                            | выход, ЛК № 1                              | выход, ЛК № 2                              |
| 1    | Повышенная температура     | >70 °С, 150 с                              | >70 °С, 175 с                              |
|      | Потеря видимости           | <20 м, 120 с                               | <20 м, 120 с                               |
|      | Содержание кислорода       | <0,226 кг/м <sup>3</sup> , 190 с           | <0,226 кг/м <sup>3</sup> , 200 с           |
|      | Содержание СО              | >1,16×10 <sup>-3</sup> кг/м <sup>3</sup> , | >1,16×10 <sup>-3</sup> кг/м <sup>3</sup> , |
|      | Содержание СО <sub>2</sub> | >0,11 кг/м <sup>3</sup> ,                  | >0,11 кг/м <sup>3</sup> ,                  |
| 2    | Повышенная температура     | >70 °С, 155 с                              | >70 °С, 155 с                              |
|      | Потеря видимости           | <20 м, 120 с                               | <20 м, 120 с                               |
|      | Содержание кислорода       | <0,226 кг/м <sup>3</sup> , 150 с           | <0,226 кг/м <sup>3</sup> , 150 с           |
|      | Содержание СО              | >1,16×10 <sup>-3</sup> кг/м <sup>3</sup> , | >1,16×10 <sup>-3</sup> кг/м <sup>3</sup> , |
|      | Содержание СО <sub>2</sub> | >0,11 кг/м <sup>3</sup> ,                  | >0,11 кг/м <sup>3</sup> ,                  |
| 3    | Повышенная температура     | >70 °С, 180 с                              | >70 °С, 150 с                              |
|      | Потеря видимости           | <20 м, 120 с                               | <20 м, 240 с                               |
|      | Содержание кислорода       | <0,226 кг/м <sup>3</sup> , 180 с           | <0,226 кг/м <sup>3</sup> , 180 с           |
|      | Содержание СО              | >1,16×10 <sup>-3</sup> кг/м <sup>3</sup> , | >1,16×10 <sup>-3</sup> кг/м <sup>3</sup> , |
|      | Содержание СО <sub>2</sub> | >0,11 кг/м <sup>3</sup> ,                  | >0,11 кг/м <sup>3</sup> ,                  |

### Особенности распространения ОФП

Пожар на уровне третьего этажа (рис. 1–3) развивается по классическим представлениям о динамике развития пожаров [17]. Высокотемпературные продукты горения перемещаются в верхнюю часть этажа и далее по рампе – на вышерасположенные этажи. Благоприятным условием для распространения высокотемпературных продуктов горения является отсутствие возможности разделения этажа на пожарные отсеки, так как классические рамповые подземные стоянки автомобилей разделяют этажи на пожарные отсеки посредством перекрытия. За 120 с развития пожара достигнуто критическое значение ОФП по потере видимости – менее 20 м, за время развития пожара 150 с зафиксировано повышение температуры выше 70 °С.

Пожар на уровне второго этажа (рис. 4–6) развивается по классическим представлениям о динамике развития пожаров [17]. Нагретые до высоких температур газы и дым перемещаются в верхнюю часть этажа и далее по рампе на вышерасположенный первый этаж, при устойчивом развитии пожара проникают через рампу на нижерасположенный третий этаж. Благоприятным условием для распространения высокотемпературных продуктов горения является отсутствие возможности разделения этажа на пожарные отсеки. За 120 с развития пожара достигнуто критическое значение ОФП по потере видимости – менее 20 м, за время развития пожара 150 с содержание кислорода ниже 0,226 кг/м<sup>3</sup>, за время развития пожара 155 с зафиксировано повышение температуры выше 70 °С.

Пожар на уровне первого этажа (рис. 7–9) развивается по классическим представлениям о динамике развития пожаров [17]. Нагретые до высоких температур газы и дым перемещаются в верхнюю часть этажа и далее по рампе в направлении въезда (выезда) с подземной автостоянки, при устойчивом развитии пожара проникают через рампу на нижерасположенный второй этаж. Благоприятным условием для распространения высокотемпературных продуктов горения является отсутствие возможности разделения этажа на пожарные отсеки. За 120 с развития пожара достигнуто критическое значение ОФП по потере видимости – менее 20 м, за время развития пожара 150 с зафиксировано повышение температуры выше 70 °С.

### Выводы

1. Многоуровневые подземные автостоянки являются неотъемлемой частью современных крупных городов. В то же время подземные автостоянки уязвимы в случае

пожара, представляющего опасность как для автомобилей, так для людей на автостоянке, и даже для вышерасположенного здания, если стоянка под ним.

2. Для моделирования развития пожара в подземной автостоянке был проведен компьютерный эксперимент. Результаты компьютерного эксперимента для вариантов пожара на трехэтажной подземной автостоянке показали следующее:

- при пожаре на любом из этажей автостоянки критические значения ОФП достигаются по потери видимости – менее 20 м и повышению температуры выше 70 °С;
- в интервале 150–200 с достигаются критические значения ОФП по снижению содержания кислорода ниже допустимого значения 0,226 кг/м<sup>3</sup>;
- при устойчивом развитии пожара (более 240 с) высокотемпературные продукты горения начинают перемещаться через рампу на нижерасположенные этажи;
- наибольшей опасности при пожаре подвергаются люди, находящиеся на нижерасположенных этажах, так как высокотемпературные продукты горения в случае проникновения в лестничную клетку блокируют эвакуационные пути.

3. В дальнейшем представляется необходимым рассмотреть вопросы тактики тушения подземных автостоянок и эвакуации (спасения) людей из них.

### Литература

1. Свод правил 113.13330.2016. Стоянки автомобилей. Актуализированная редакция СНиП 21-02-99\* // ЭЛЕКТРОННЫЙ ФОНД правовой и нормативно-технической документации. URL: <http://www.docs.cntd.ru> (дата обращения: 10.12.2019).
2. Дорожкин А.С., Таранцев А.А., Минкин Д.Ю. Проблемы пожарной безопасности подземных автостоянок // Проблемы управления рисками в техносфере. 2015. № 1 (33). С. 13–18.
3. Аналитическое агентство АВТОСТАТ. URL: <https://www.autostat.ru> (дата обращения: 18.12.2019).
4. Некоммерческое партнерство «Ассоциация развития парковочного пространства». URL: <http://asrpp.ru> (дата обращения: 18.12.2019).
5. Дмитрий Бойцов. Подземные паркинги. Опыт проектирования в Санкт-Петербурге. 2015. сентябрь. URL: <https://undergroundexpert.info/issledovaniya-i-tehnologii/nauchnye-stati/podzemnye-parkingi-opyt-proektirovaniya-v-sankt-peterburge/> (дата обращения: 23.12.2019).
6. Подземный эксперт. Информационный портал о подземном строительстве. URL: <https://undergroundexpert.info/issledovaniya-i-tehnologii/nauchnye-stati/podzemnye-parkingi-opyt-proektirovaniya-v-sankt-peterburge/> (дата обращения: 23.12.2019).
7. Свод правил 154.13130.2013. Встроенные подземные автостоянки. Требования пожарной безопасности // ЭЛЕКТРОННЫЙ ФОНД правовой и нормативно-технической документации. URL: <http://www.docs.cntd.ru> (дата обращения: 10.12.2019).
8. Системы повышения безопасности пассажиров метрополитена при пожаре в тоннеле. Метро и тоннели / А.В. Карпышев и [др.]. М., 2006. № 1.
9. Фомин А.В., Чередниченко С.Н. Эвакуация людей из подземных автостоянок с учетом специфики данных объектов // Науч.-аналит. журн. «Вестник С.-Петерб. ун-та ГПС МЧС России». 2013. № 2. С. 58–63.
10. Информационный портал Карькина И.Н. URL: <https://pyrosim.ru/polevaya-model-rozhara> (дата обращения: 23.12.2019).
11. Карькин И.Н. Библиотека реакций и поверхностей горения в PyroSim. Екатеринбург, 2016. 27 с.
12. Контарь Н.А., Карькин И.Н. PyroSim 2016. Примеры построения расчетных моделей для решения различных задач пожарной безопасности зданий и сооружений. Екатеринбург, 2016. 220 с.
13. Пузач С.В. Методы расчета тепломассообмена при пожаре в помещениях и их применение при решении задач пожаровзрывобезопасности: монография. М.: Акад. ГПС МЧС России, 2005. 336 с.
14. Об утверждении методики определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и строениях различных классов функциональной пожарной

опасности: приказ МЧС России от 30 июня 2009 г. № 382. Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».

15. Социальная сеть проектировщиков, работающих в REVIT. URL: [https://revitcity.ru/index.php?option=com\\_easysocial&view=photos&layout=item&ii=15790:parking-for-site-6&type=user&uid=525:vadim-belov&Itemid=273](https://revitcity.ru/index.php?option=com_easysocial&view=photos&layout=item&ii=15790:parking-for-site-6&type=user&uid=525:vadim-belov&Itemid=273) (дата обращения: 23.12.2019).

16. Динь Конг Хынг, Ворогушин О.О., Корольченко А.Я. Динамика развития пожаров в высотных зданиях // Пожаровзрывобезопасность. 2012. № 12. Т. 21.

17. Кимстач И.Ф., Девлишев И.П., Евтюшкин Н.М. Пожарная тактика: учеб. пособие для пожарно-технических училищ и начальствующего состава пожарной охраны. М.: Стройздат, 1984. 595 с.

## **ОЦЕНКА ОРГАНИЗАЦИИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ПОЖАРНОЙ АВТОМАТИКИ МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ЗДАНИЙ ПОВЫШЕННОЙ ЭТАЖНОСТИ С ПРИМЕНЕНИЕМ НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ**

**Д.П. Кеда, кандидат технических наук, доцент;**

**В.В. Кутузов, кандидат технических наук, доцент;**

**О.В. Уткин.**

**Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России**

Проведен анализ связей между вероятностью выполнения пожарной автоматикой, системой оповещения и эвакуацией людей при пожаре объектов защиты и расчетными показателями эксплуатационных функций для комплексной системы безопасности многофункциональных зданий повышенной этажности. На примере оценки вероятности выполнения функции основного назначения системой оповещения и эвакуации людей при пожаре объекта защиты комплексной системы безопасности многофункционального здания повышенной этажности и его расчетными показателями эксплуатационных функций точечным показана возможность применения для этой цели аппарата нечетких множеств и нечеткой логики. Приведена методика получения базы правил нечеткого вывода.

*Ключевые слова:* пожарная автоматика, система оповещения и управления эвакуацией людей при пожаре, система безопасности многофункционального здания повышенной этажности, мероприятия эксплуатации пожарной автоматики и системы оповещения и эвакуации людей при пожаре, вероятность выполнения функции основного назначения

## **EVALUATION OF THE ORGANIZATION OF OPERATION OF FIRE AUTOMATION OF MULTI-FUNCTIONAL BUILDINGS OF HIGH STOREYS USING FUZZY LOGIC**

**D.P. Keda; V.V. Kutuzov; O.V. Utkin.**

**Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia**

The analysis of the relationship between the probability of fire automatics, the warning system and the evacuation of people in case of fire protection facilities and the estimated performance functions for the integrated security system of multifunctional buildings of high storeys. On the example of assessing the probability of fulfilling the function of the main purpose of the warning and evacuation system in case of fire of the object of protection of the integrated

security system of a multifunctional building with increased floors and its calculated indicators of operational functions, the possibility of using fuzzy sets and fuzzy logic for this purpose is shown by points. The technique of obtaining the base of fuzzy inference rules is given.

*Keywords:* fire automatics, warning and evacuation control system, security system of a multifunctional building with increased number of storeys, fire automatics and the warning and evacuation system in case of fire operation measures, probability of fulfilling the function of the main purpose

По данным МЧС России, опубликованным на портале Единой межведомственной информационно-статистической системы (ЕМИСС) в 2016, 2017, 2018 гг., количество объектов пожаров в Российской Федерации составило соответственно 139 793, 133 077, 132 074, при этом на пожарах погибло в 2016 г., 2017 г., 2018 г. 8 760, 7 824, 7 913 и получили травмы 9 909, 9 361, 9 650 чел. соответственно [1].

Прямой материальный ущерб от пожаров по причинам возникновения в 2016, 2017 и 2018 гг. составил 14 323 829, 14 217 273, 15 913 505 тыс. руб. Ущерб от пожаров по причинам возникновения эксплуатации и др. с 2016 по 2018 гг. представлен в табл. 1.

Таблица 1

| № п/п   | Причины возникновения пожара   | Ущерб по годам в тыс. руб. |                |                |
|---|--|----------------------------|----------------|----------------|
|   |  | 2016                       | 2017           | 2018           |
| 1   | Нарушение правил устройства и эксплуатации оборудования и бытовых электроприборов              | 5448500,06                 | 5524285        | 6296777,76     |
| 2   | Неисправность производственного оборудования, нарушение технологического процесса производства | 526718,23                  | 263137         | 294881,57      |
| 3   | Нарушение правил пожарной безопасности при проведении электросварочных работ                   | 674045                     | 322597         | 109285,25      |
| 4   | Самовозгорание веществ и материалов  | 48692                      | 155156         | 417068,8       |
| 5   | Неисправность и нарушение правил эксплуатации печного отопления                                | 1164522,35                 | 571544         | 1420085,54     |
| 6   | Неустановленные причины  | 920099,18                  | 913805         | 157561,63      |
| 7   | Прочие причины   | 1963844                    | 3810           | 874,38         |
| <b>Всего:</b>   |  | <b>10746421</b>            | <b>7754334</b> | <b>8696535</b> |
| Процент возникновения пожара эксплуатационных и других причин, указанных в таблице № 1, от общего причиненного ущерба по причинам возникновения пожара в 2016, 2017, 2018 гг. составил: |  | 75 %                       | 54,5 %         | 55 %           |

Из содержания опубликованных данных ЕМИСС большая часть погибших и пострадавших людей от пожаров в Российской Федерации за последние годы в процентном отношении значительно не поменялась. Статистика причин возникновения пожаров с 2016 по 2018 гг. показывает их незначительное изменение в процентном состоянии по сравнению с периодом 2010 по 2015 гг.

Доля процентов возникновения пожаров на производствах и социальных защищаемых объектах в Российской Федерации, зависящих от эксплуатации производственной техники, пожарной автоматики, систем оповещения и управления эвакуацией людей при пожаре (СОУЭ) и других систем пожарной безопасности по отношению к общим причинам возникновения пожаров остается значительно велика, на что указывают статистические показатели в процентном отношении, особенно с 2016 по 2018 гг., и соответствуют – 75 %, 54,5 % и 55 % (табл. 1).

Доля мероприятий и влияния факторов при проведении эксплуатации пожарной автоматики, в том числе и СОУЭ, на объектах защиты для комплексной системы безопасности

многофункциональных зданий повышенной этажности может иметь сравнительное значительное расхождение по отношению к стандартным немногofункциональным объектам. Это расхождение особенно различимо по количеству видов систем безопасности, в том числе и пожарной безопасности, в наличии или отсутствии единой комплексной системы управления и передачи данных на диспетчерские пункты объектов защиты, районов, населенных пунктов и пунктов управления регионального значения и в целом Российской Федерации. Системы комплексного решения задач пожарной безопасности на объектах защиты основаны на современных, передовых интегрированных и интеллектуальных системах безопасности, имеющих в своем составе значительный арсенал высокотехнологического и инженерно-технического оборудования и систем управления.

Эксплуатация пожарной автоматики и СОУЭ осуществляется в соответствии с требованиями руководящих документов: Федеральный закон Российской Федерации от 22 июля 2008 г. № 123 «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» [2], Федеральный закон Российской Федерации от 21 июля 1997 г. № 116 «О промышленной безопасности опасных производственных объектов», ГОСТ Р 54101–2010 «Национальный стандарт Российской Федерации. Средства автоматизации и системы управления», ГОСТ Р 53325–2012 «Национальный стандарт Российской Федерации. Технические средства пожарной автоматики», СП 5.13130.2009 «Установки пожарной сигнализации и пожаротушения автоматические нормы и правила проектирования», СП 3.13130.2009 «Система оповещения и управления эвакуацией людей при пожаре. Требования пожарной безопасности», РД 25.964–90 «Система технического обслуживания и ремонта автоматических установок пожаротушения, дымоудаления, охранной, пожарной и охранно-пожарной сигнализации». Высокая организация и четкий порядок проведения эксплуатационных мероприятий и работ на производственной и пожарной автоматике на объектах защиты обеспечивает их качественное функционирование и эффективное выполнение всех функций в период рабочего режима и режима «Пожар». Выполнение необходимых требований эксплуатации производственной и пожарной автоматики (ППА) и СОУЭ на различных этапах ее проведения играет важную роль в спасении и сохранении жизни людей и материальных ресурсов при пожарах на объектах защиты.
















Умелые и четкие действия ответственного персонала и руководства при организации эксплуатации ППА и СОУЭ объекта защиты позволяют своевременно выполнить и обеспечить высокую эффективность приоритетных направлений эксплуатации ППА и СОУЭ. Ответственный персонал за пожарную безопасность принимает активное участие в управлении процессами создания пожарной автоматики и СОУЭ, проведении предпроектных и проектных работ, проектировании комплексной системы пожарной безопасности на вновь создаваемых и действующих объектах защиты.






Ответственный персонал за организацию эксплуатации ППА и СОУЭ обязан обеспечить правильное распределение их ресурсов, своевременное планирование, подготовку договоров, ведение организационных и технических документов по вопросам эксплуатации ППА и СОУЭ, востребовать материальные средства на техническое обслуживание, осуществлять своевременное финансирование и списание основных средств, контроль и своевременное принятие мер в обеспечении функционирования всех подсистем пожарной автоматики.

Опубликованная статистика срабатывания систем автоматической пожарной защиты от Всероссийского ордена «Знак Почета» научно-исследовательского института противопожарной обороны МЧС России в журнале РУБЕЖ (№ 3 (17) 2016 г.) показывает эффективность систем пожарной автоматики при защите объектов, сохранении жизни людей и имущества во время пожаров за период 2013 по 2015 гг. В подборке представлены по годам статистические данные по всем разделам пожарной техники в период 2013–2015 гг. (табл. 2).

Таблица 2. Эффективность выполнения задачи пожарной автоматики при пожарах, произошедших в Российской Федерации в период с 2013 по 2015 гг.

| Вид пожарной автоматики                 |  | Всего                     |         |         | Задачу выполнила |         |         | Задачу не выполнила |        |        |
|---|--|---------------------------|---------|---------|------------------|---------|---------|---------------------|--------|--------|
|   |  | 2013                      | 2014    | 2015    | 2013             | 2014    | 2015    | 2013                | 2014   | 2015   |
| Установка охранно-пожарной сигнализации |  | 845                       | 870     | 987     | 743              | 734     | 835     | -                   | -      | -      |
|   |  | 810204                    | 1518401 | 1375007 | 759677           | 1370539 | 1125117 | -                   | -      | -      |
|   |  | 1419444                   | 1311839 | 1134693 | 1323034          | 1193989 | 966174  | -                   | -      | -      |
|   |  | 43                        | 9       | 26      | 42               | 5       | 18      | -                   | -      | -      |
|   |  | 25                        | 27      | 36      | 22               | 17      | 31      | -                   | -      | -      |
| Установка пожарной сигнализации         |  | 1223                      | 1179    | 1146    | 858              | 951     | 951     | -                   | -      | -      |
|   |  | 1912021                   | 2186041 | 3157594 | 1620228          | 2075481 | 2743027 | -                   | -      | -      |
|   |  | 1695911                   | 1394572 | 2481846 | 1528545          | 1211562 | 1588498 | -                   | -      | -      |
|   |  | 62                        | 36      | 64      | 49               | 22      | 34      | -                   | -      | -      |
|   |  | 88                        | 83      | 184     | 54               | 74      | 148     | -                   | -      | -      |
| Установка пожаротушения                 |  | 79                        | 87      | 104     | 29               | 37      | 43      | 30                  | 24     | 36     |
|   |  | 1209789                   | 80905   | 1946996 | 81209            | 12732   | 4773    | 932459              | 62948  | 167541 |
|   |  | 729488                    | 183825  | 810225  | 8980             | 37700   | 59525   | 168200              | 133500 | 163600 |
|   |  | 2                         | 1       | 17      | 0                | 0       | 0       | 0                   | 1      | 1      |
|   |  | 20                        | 7       | 58      | 0                | 4       | 0       | 2                   | 2      | 6      |
| Система противодымной защиты            |  | 221                       | 189     | 134     | 110              | 108     | 90      | 3                   | 5      | 5      |
|   |  | 2226                      | 604737  | 30909   | 1915             | 602290  | 39459   | 0                   | 1872   | 15     |
|   |  | 33535                     | 13400   | 79000   | 3530             | 10800   | 78950   | 30000               | 0      | 0      |
|   |  | 15                        | 21      | 11      | 5                | 12      | 4       | 0                   | 0      | 1      |
|   |  | 46                        | 35      | 27      | 25               | 25      | 16      | 3                   | 0      | 3      |
| Система оповещения о пожаре             |  | 160                       | 200     | 185     | 142              | 160     | 149     | 2                   | 6      | 4      |
|   |  | 293829                    | 587222  | 150283  | 256691           | 566573  | 86893   | 39                  | 7      | 15000  |
|   |  | 688102                    | 214278  | 209985  | 641787           | 186573  | 186185  | 5000                | 1600   | 1000   |
|   |  | 39                        | 4       | 2       | 39               | 1       | 2       | 0                   | 2      | 0      |
|   |  | 8                         | 11      | 24      | 8                | 6       | 18      | 0                   | 4      | 2      |
| Всего                                   |  | 2206                      | 2231    | 2295    | 1699             | 1786    | 1886    | 35                  | 38     | 45     |
|   |  | 2898226                   | 4248001 | 4778923 | 2383670          | 3920963 | 3878482 | 932498              | 64836  | 177556 |
|   |  | 3199358                   | 2873886 | 3925314 | 2874224          | 2445651 | 2705996 | 5                   | 7      | 11     |
|   |  | 109                       | 62      | 99      | 92               | 36      | 54      | 203200              | 136350 | 164600 |
|   |  | 153                       | 135     | 257     | 95               | 106     | 197     | 0                   | 4      | 2      |
| Вид пожарной автоматики                 |  | Не сработала (неисправна) |         |         | Не включена      |         |         |                     |        |        |
|   |  | 2013                      | 2014    | 2015    | 2013             | 2014    | 2015    |                     |        |        |
| Установка охранно-пожарной сигнализации |  | 81                        | 96      | 117     | 21               | 40      | 35      |                     |        |        |
|   |  | 30813                     | 145922  | 57586   | 19714            | 1940    | 192303  |                     |        |        |
|   |  | 90230                     | 87850   | 110919  | 6180             | 30000   | 57600   |                     |        |        |
|   |  | 1                         | 3       | 8       | 0                | 1       | 0       |                     |        |        |
|   |  | 3                         | 9       | 5       | 0                | 1       | 0       |                     |        |        |
| Установка пожарной сигнализации         |  | 308                       | 190     | 155     | 57               | 38      | 40      |                     |        |        |
|   |  | 81466                     | 100346  | 401854  | 210326           | 10213   | 12713   |                     |        |        |
|   |  | 153566                    | 151410  | 876928  | 13200            | 31600   | 16420   |                     |        |        |
|   |  | 11                        | 12      | 29      | 2                | 2       | 1       |                     |        |        |
|   |  | 29                        | 8       | 35      | 5                | 1       | 1       |                     |        |        |
| Установка пожаротушения                 |  | 16                        | 13      | 17      | 4                | 13      | 8       |                     |        |        |
|   |  | 177621                    | 5225    | 1779125 | 18500            | 0       | 557     |                     |        |        |
|   |  | 534308                    | 500     | 536050  | 18000            | 12125   | 51050   |                     |        |        |
|   |  | 2                         | 0       | 16      | 0                | 0       | 0       |                     |        |        |
|   |  | 18                        | 0       | 51      | 0                | 1       | 1       |                     |        |        |

|   |   |        |        |         |        |       |        |
|---|---|--------|--------|---------|--------|-------|--------|
| Система<br>противо-<br>дымной<br>защиты |  | 107    | 72     | 32      | 1      | 4     | 7      |
|   |  | 311    | 523    | 434     | 0      | 53    | 0      |
|   |  | 5      | 2600   | 50      | 0      | 0     | 0      |
|   |  | 10     | 8      | 6       | 0      | 1     | 0      |
|   |  | 18     | 9      | 6       | 0      | 1     | 2      |
| Система<br>оповещения<br>о пожаре       |  | 12     | 27     | 25      | 4      | 7     | 7      |
|   |  | 11334  | 19842  | 48340   | 25765  | 799   | 50     |
|   |  | 21315  | 23905  | 20650   | 20000  | 2200  | 2150   |
|   |  | 0      | 1      | 0       | 0      | 0     | 0      |
|   |  | 0      | 1      | 4       | 0      | 0     | 0      |
| Всего                                   |  | 443    | 348    | 312     | 83     | 95    | 90     |
|   |  | 289673 | 258654 | 2225007 | 274042 | 12183 | 205623 |
|   |  | 778109 | 245860 | 1501197 | 57380  | 64725 | 127170 |
|   |  | 17     | 22     | 58      | 2      | 4     | 1      |
|   |  | 58     | 25     | 97      | 5      | 4     | 4      |

 количество пожаров ед.;  – прямой ущерб, тыс. руб.;  – спасено материальных ценностей, тыс. руб.;  – погибло людей, чел.;  – травмировано людей, чел.

Зависимость уровня эксплуатации ППА и СОУЭ в современных условиях напрямую связана с ее эффективной работой при возникновении пожаров на объектах защиты.

Несмотря на точные расчеты при проектировании систем пожарной безопасности, в реальности бесперебойная и четкая работа ППА и СОУЭ будет зависеть и от факторов, которые могут иметь место при чрезвычайных обстоятельствах и непредвиденных ситуациях, возникающих на пожарах.

Рассматривая конкретно СОУЭ, можно уверенно утверждать, что в реальности истинное время безопасной эвакуации будет совпадать с расчетным крайне редко, потому что между временем возникновения пожара и его обнаружением системой автоматической пожарной сигнализации (АПС), а, следовательно, и началом работы СОУЭ практически всегда будет существовать разрыв, определяемый, во-первых, инерционностью извещателей пожарных (ИП), ППА и СОУЭ, во-вторых, вероятностью обнаружения загорания в момент начала проявления его информационных характеристик, а также других причин, зависящих от условий эксплуатации и особенностей, возникающих на объекте защиты от непредвиденных факторов в период возникновения пожара. Данный разрыв, обусловленный инертностью, поздним обнаружением загорания, проявлением непредвиденных факторов, может привести к тому, что реальное время, в течение которого есть возможность осуществить безопасную эвакуацию из загоревшегося здания, может оказаться недостаточным для спасения всех людей.

В действующих нормативных документах по пожарной безопасности термина «вероятность обнаружения загорания» не существует, хотя в виде «вероятности выполнения функции основного назначения» его учитывают в определении «вероятности эффективной работы системы обнаружения пожаров» [3].

Эти понятия довольно подробно изложены в работе [4], а в вопросах введения в нормативную документацию терминов «вероятность своевременного обнаружения пожара» и «вероятность достоверного обнаружения пожара» есть очень существенные предложения в работе [5].

Определение вероятности эффективной работы системы по обнаружению пожара описано в работе [3], где данный термин определяется как «произведение вероятности выполнения функции основного назначения ( $P_{\text{фоноб}}$ ) и вероятности безотказной работы технических средств этой системы ( $P_{\text{бробн}}$ ):

$$P_{\text{эфобн}} = P_{\text{фоноб}} \cdot P_{\text{бробн}}$$



В данном случае безотказность работы технических средств системы по обнаружению пожара ( $P_{\text{бробн.}}$ ) будет определяться в соответствии с действующими методиками теории надежности сложных технических систем.

В соответствии с этими математическими методиками, работа систем ППА и СОУЭ не является уникальной по сравнению с работой систем автоматики в других отраслях производства, так как в основе лежат одна и та же элементная база и принципы.

При наличии обоснований выбора, размещения, учета времени инерционности ИП, АПС и СОУЭ, учета их работы в момент начала проявления информационных характеристик и других непредвиденных факторов вероятность выполнения функции основного назначения может быть принята равной единице. В случае отсутствия таких обоснований время обнаружения может превышать необходимое и вероятность выполнения функции основного назначения может быть равна нулю, что сведет вероятность эффективной работы к нулю [3].

На практике, ввиду определенных обстоятельств и периодов продолжительной работы пожарной автоматики и СОУЭ на многих объектах защиты, появляются факторы, которые напрямую влияют на вероятность выполнения функции основного назначения и их вероятность эффективной работы. Этими факторами на объектах защиты являются большой процент выработки сроков эксплуатации ППА, СОУЭ и других систем пожарной безопасности объектов защиты. Это, безусловно, напрямую связано с неполным финансированием, и, соответственно, неполным обеспечением своевременно большого количества мероприятий, направленных на эксплуатацию данного направления и эффективность работы систем пожарной автоматики.

Результативность проявления данных факторов отражена в статистических данных, указанных выше в табл. 2.

Если рассматривать ситуацию, когда «вероятность выполнения функции основного назначения может быть равна нулю», то это означает, что на защищаемом объекте система автоматики пожарной безопасности и СОУЭ полностью неисправна. Согласно нормативным документам такого быть не должно.

На состояние эффективной работы систем пожарной автоматики и СОУЭ при возникновении пожара, а так же на время обнаружения факта загорания и время безопасной эвакуации людей при пожаре сильное влияние оказывают: условия среды на объекте защиты, в которой осуществляется их обнаружение, факторы, зависящие от момента начала проявления информационных характеристик пожара и состояния работоспособности систем пожарной безопасности в данный период. Значительную роль в период возникновения пожара, безусловно, сыграют и факторы, зависящие от качественного проведения регламентов технического обслуживания, ремонта и соблюдения других эксплуатационных мероприятий, влияющих на работоспособность данных систем безопасности на объекте защиты.

Учитывая вышеизложенное, оценка вероятности выполнения функции основного назначения системой АПС и СОУЭ методами теории вероятностей и математической статистики не всегда соответствует ее логике и выполнению принципов и реализации эффективной работы автоматики систем пожарной безопасности, которая зависит от влияния различных факторов.

Поэтому для оценки вероятности выполнения функции основного назначения АПС и СОУЭ предлагается применить методы нечеткой логики.

Для расчета выберем СОУЭ с ее характеристиками. В характеристиках СОУЭ функция основного назначения будет существенно зависеть от степени выработки установленных сроков эксплуатации данной системы и отказов функционирования ее основных элементов, которые могут проявлять себя на объектах защиты.

Тогда, переходя к описанию ситуации в терминах нечеткой логики, вводим две лингвистические переменные: доля выработки ресурса СОУЭ и периодичность отказов основных элементов СОУЭ, которые и будут использоваться в качестве входных переменных системы нечеткого вывода [6].

Выходной переменной системы нечеткого вывода будет являться вероятность выполнения СОУЭ функции основного назначения.

В качестве термов для лингвистической переменной «Доля выработки ресурса СОУЭ» определим «Очень низкая», «Низкая», «Средняя», «Высокая», «Очень высокая».

Согласно положениям теории нечетких множеств каждому значению времени эксплуатации может быть поставлено в соответствие некоторое число от нуля до единицы, которое определяет степень принадлежности данного значения к тому или иному терму лингвистической переменной «Доля выработки ресурса СОУЭ».

Степень принадлежности определяется так называемой функцией принадлежности  $\mu(t_s)$ , где  $t_s$  – время от начала эксплуатации СОУЭ.

Процесс сопоставления множества значений  $t_s$  функции принадлежности  $\mu(t_s)$  в терминах нечеткой логики носит название фазсификации – то есть перевода значений  $t_s$  в нечеткий формат. Значения функции принадлежности  $\mu(t_s)$  могут быть взяты только из априорных знаний, статистических показателей, интуиции (опыта), опроса экспертов.

Термами второй входной переменной «Периодичность отказа основных элементов СОУЭ за период эксплуатации» также определим понятия «Очень низкая», «Низкая», «Средняя», «Высокая», «Очень высокая».

Выходная переменная «Вероятность выполнения СОУЭ функции основного назначения» будет характеризоваться следующими термами: «Очень высокая», «Высокая», «Средняя», «Низкая», «Очень низкая».

Для иллюстрации связи между входом и выходом построим таблицу нечетких правил (табл. 1).

**Таблица 1. Вероятность выполнения СОУЭ функции основного назначения**

| «Периодичность отказа основных элементов СОУЭ за период эксплуатации» | «Доля выработки ресурса СОУЭ» |              |              |              |               |
|---|-------------------------------|--------------|--------------|--------------|---------------|
|   | Очень низкая                  | Низкая       | Средняя      | Высокая      | Очень высокая |
| Очень низкая  | Очень высокая                 | Высокая      | Средняя      | Низкая       | Очень Низкая  |
| Низкая  | Высокая                       | Средняя      | Низкая       | Очень Низкая | Очень Низкая  |
| Средняя   | Средняя                       | Низкая       | Очень Низкая | Очень Низкая | Очень Низкая  |
| Высокая   | Низкая                        | Очень Низкая | Очень Низкая | Очень Низкая | Очень Низкая  |
| Очень высокая   | Очень низкая                  | Очень низкая | Очень Низкая | Очень Низкая | Очень Низкая  |

Каждая запись в данной таблице будет соответствовать своему нечеткому правилу:

– если «Доля выработки ресурса СОУЭ» очень низкая и «Периодичность отказа основных элементов СОУЭ за период эксплуатации» очень низкая, то вероятность выполнения СОУЭ функции основного назначения будет очень высокая;

– если «Доля выработки ресурса СОУЭ» очень низкая и «Периодичность отказа основных элементов СОУЭ за период эксплуатации» низкая, то вероятность выполнения СОУЭ функции основного назначения будет высокая.

Для построения функции принадлежности необходимо экспертным путем поставить в соответствие каждому значению лингвистической переменной некоторое число от нуля до единицы, которое определит степень принадлежности этого значения тому или иному терму.

Предположим, что опросом экспертов для обозначенных лингвистических переменных были получены оценки (табл. 2–4).

Таблица 2. Экспертные значения показателей «Доля выработки ресурса СОУЭ»

| Доля выработки ресурса СОУЭ | Критерий оценки показателей выработки ресурса СОУЭ                  | Значения показателя |
|-----------------------------|---|---------------------|
| Очень высокая, i=1          | СОУЭ выработала от 100 до 80 % от установленного срока эксплуатации | 1,0–0,8             |
| Высокая, i=2                | СОУЭ выработала от 80 до 50 % от установленного срока эксплуатации  | 0,8–0,5             |
| Средняя, i=3                | СОУЭ выработала от 50 до 20 % от установленного срока эксплуатации  | 0,5–0,2             |
| Низкая, i=4                 | СОУЭ выработала от 20 до 10 % от установленного срока эксплуатации  | 0,2–0,1             |
| Очень низкая, i=5           | СОУЭ выработала менее 10 % от установленного срока эксплуатации     | 0,1–0,0             |

Таблица 3. Экспертные значения показателей «Периодичность отказа основных элементов СОУЭ за период эксплуатации»

| Периодичность отказа основных элементов СОУЭ | Критерий оценки показателей периодичности отказа основных элементов СОУЭ   | Значения показателя |
|--|--|---------------------|
| Очень высокая, j=1                           | Имеется отказов СОУЭ, периодичность которых соответствует от 50 % до 40 %  | 0,5–0,4             |
| Высокая, j=2                                 | Имеется отказов СОУЭ, периодичность которых соответствует от 40 % до 30 %  | 0,4–0,3             |
| Средняя, j=3                                 | Имеется отказов СОУЭ, периодичность которых соответствует от 30 % до 10 %  | 0,3–0,1             |
| Низкая, j=4                                  | Имеется отказов СОУЭ, периодичность которых соответствует от 10 % до 0,5 % | 0,1–0,05            |
| Очень низкая, j=5                            | Имеется отказов СОУЭ, периодичность которых соответствует менее 0,5 %      | 0,05–0,0            |

Таблица 4. Экспертные значения вероятности выполнения СОУЭ функции основного назначения

| Вероятность выполнения СОУЭ функции основного назначения | Критерий оценки показателей вероятности  | Значения показателя |
|--|--|---------------------|
| Очень высокая, k=1                                       | Установленные на объекте СОУЭ имеют очень низкую степень показателей «Доля выработки ресурса СОУЭ» на фоне «Очень низкая периодичность отказа СОУЭ»  | 0,95–0,90           |
| Высокая, k=2   | Установленные на объекте СОУЭ имеют очень низкую степень показателей «Доля выработки ресурса СОУЭ» на фоне «Низкая периодичность отказа СОУЭ»        | 0,90–0,80           |
| Средняя, k=3   | Установленные на объекте СОУЭ имеют очень низкую степень показателей «Доля выработки ресурса СОУЭ» на фоне «Средняя периодичность отказа СОУЭ»       | 0,80–0,70           |
| Низкая, k=4  | Установленные на объекте СОУЭ имеют очень низкую степень показателей «Доля выработки ресурса СОУЭ» на фоне «Высокая периодичность отказа СОУЭ»       | 0,70–0,60           |
| Очень низкая, k=5  | Установленные на объекте СОУЭ имеют очень низкую степень показателей «Доля выработки ресурса СОУЭ» на фоне «Очень высокая периодичность отказа СОУЭ» | 0,60–0,5            |

Для требуемой обработки информации введем следующие обозначения:

1. Показатель «Доля выработки ресурса СОУЭ» – X.
2. Показатель «Периодичность отказа основных элементов СОУЭ за период эксплуатации» – Y.
3. Значение «Вероятность отказа СОУЭ» – Z.
4. Число возможных сочетаний – N.
5. Номера показателя – i, j, k.

Тогда в соответствии с правилами представленная база в виде нечетких высказываний, которым соответствуют функции принадлежности, будет выглядеть следующим образом:

1: ЕСЛИ «Доля выработки ресурса СОУЭ»= $X_i$  И «Периодичность отказа основных элементов СОУЭ за период эксплуатации»= $Y_j$ , ТО Вероятность= $Z_k$ ,

2: ЕСЛИ «Доля выработки ресурса СОУЭ»= $X_i$  И «Периодичность отказа основных элементов СОУЭ за период эксплуатации»= $Y_j$ , ТО Вероятность= $Z_k$ ,

.....

N: ЕСЛИ «Доля выработки ресурса СОУЭ»= $X_i$  И «Периодичность отказа основных элементов СОУЭ за период эксплуатации»= $Y_j$ , ТО Вероятность= $Z_k$ .

На основе полученной базы правил может быть проведено компьютерное моделирование оценки вероятности выполнения СОУЭ функции основного назначения и разработана программа для данных показателей. На практике разработанная программа позволит с высокой вероятностью оценить фактическое состояние СОУЭ защищаемого объекта, принимать решения для повышения уровня безопасности людей и сохранности материальных ресурсов, а также возможности прогнозирования, оценки и рекомендаций в сложившейся ситуации, для организации эвакуации людей на конкретном объекте.

В современных условиях, на объектах защиты с многофункциональными и многоэтажными зданиями различного назначения, где существуют централизованная система управления безопасностью и разветвленная сеть, состоящая из центральных пунктов управления и диспетчерских, наиболее целесообразно вводить программное обеспечение для учета и своевременной передачи информации в вышестоящие пункты управления МЧС России о показателях и периодичности отказа функционирования основных элементов СОУЭ и значении выработки установленных сроков эксплуатации, которые рассмотрены в данной работе. Это исключит в определенной степени зависимость передачи оценочной информации специалистам и заинтересованным лицам, порой неполной и искаженной, зависящей от человеческого фактора.

### Литература

1. МЧС России. URL: <http://www.mchs.gov.ru> (дата обращения: 21.12.2019).
2. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности: Федер. закон от 22 июля 2008 г. № 123 ФЗ (в ред. от 23 июня 2014 г.). Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».
3. Комментарий к отдельным статьям Федерального закона от 22 июля 2008 г. № 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности». URL: [http://www.vniipo/resources/Comment\\_123\\_FZ\\_2011/zip](http://www.vniipo/resources/Comment_123_FZ_2011/zip) (дата обращения: 21.12.2019).
4. Мироненко Я. Вероятность эффективной работы технических средств обеспечения пожарной безопасности // Алгоритм безопасности. 2014. № 6.
5. Зайцев А. Достоверность и своевременность обнаружения пожара, и как их учесть в нормах на СПС // Алгоритм безопасности. 2016. № 2.
6. Лабинский А.Ю., Уткин О.В. Система нечеткого вывода с нечеткими функциями принадлежности // Науч.-аналит. журн. «Вестник С.-Петерб. ун-та ГПС МЧС России». 2016. № 1. С. 68–74.

# ОРГАНИЗАЦИЯ ПЛАНИРОВАНИЯ ПРОВЕРОК В ОБЛАСТИ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ С УЧЕТОМ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДОВ СИСТЕМНОГО АНАЛИЗА

**Д.Е. Завьялов, кандидат технических наук;**  
**А.Е. Савенкова, кандидат технических наук;**  
**А.В. Кондрашин, кандидат технических наук, доцент.**  
**Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России**

Рассмотрено применение методов системного анализа при планировании проверок надзорными органами. В целях осуществления контроля (надзора) контрольно-надзорным органам необходимо обладать базой данных (ведомственной информационной системой), содержащей информацию о подконтрольных субъектах предпринимательской деятельности. Порядок формирования базы данных может включать в себя получение данных из баз иных государственных органов посредством единой системы межведомственного электронного взаимодействия.

*Ключевые слова:* контрольно-надзорная деятельность, приоритетная программа, проверка, риск-ориентированный подход

## ORGANIZATION OF PLANNING INSPECTIONS IN THE FIELD OF FIRE SAFETY, TAKING INTO ACCOUNT THE USE OF METHODS OF SYSTEM ANALYSIS

D.E. Zavyalov; A.E. Savenkova; A.V. Kondrashin.  
Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia

The article considers the application of system analysis methods in planning inspections of Supervisory authorities. In order to carry out control and Supervisory activities, control and Supervisory authorities need to have a database (departmental information system) containing information about controlled business entities. The procedure for forming the database may include obtaining data from the databases of other state bodies through a single system of interdepartmental electronic interaction.

*Keywords:* control and supervision activities, priority program, verification, risk-oriented approach

В соответствии с п. 3 ч. 2 ст. 4 Федерального закона «О защите прав юридических лиц и индивидуальных предпринимателей при осуществлении государственного контроля (надзора) и муниципального контроля» от 26 декабря 2008 г. № 294-ФЗ (ФЗ № 294-ФЗ) на федеральные структуры исполнительной власти, выполняющие контрольно-надзорные функции, возложена обязанность разрабатывать отраслевые регламенты федерального контроля и надзора. Такие мероприятия касаются всех отраслей жизни современного общества – правоотношений, промышленности, здравоохранения и культуры, социальной защиты и образования, финансов и банковского дела, промышленности и строительства, экологии и коммуникаций. Формирование и согласование каждого административного регламента проводится по особым законодательным Правилам, которые утверждены в постановлении Правительства Российской Федерации от 16 мая 2011 г. № 373 «О разработке и утверждении административных регламентов осуществления государственного контроля (надзора) и административных регламентов предоставления государственных услуг» [1, 2].

Уполномоченные на составление и утверждение такого регламента лица для проведения проверок и надзора на федеральном, региональном и муниципальном уровне подробно изложены в нормах ст.ст. 5, 6 ФЗ № 294-ФЗ.

Составленные для применения административные регламенты представляют собой алгоритм выполнения административных действий, которые должен выполнить сотрудник контрольно-надзорного органа при подготовке и реализации вверенной сферы аудита. Посредством административного регламента упрощается процесс проверки, преобразованной в стандартизированный упорядоченный порядок процедур контрольно-надзорного ракурса. Кроме того, персонал контрольно-надзорных структур получает возможность выполнять надзорные мероприятия более оперативно, подробно и информативно.

Закон обязывает государственные органы и структуры с контрольно-надзорным функционалом участвовать в подготовке нормативно-правовой базы, описывающей алгоритмы и порядок федерального, регионального и муниципального мониторинга и аудита, а также принимать участие в актуализации законных актов и административных регламентов для своевременного внесения в них правок и дополнений. Такие мероприятия позволяют проводить аудит и мониторинг подконтрольных лиц результативно и эффективно.

В своей работе контрольно-надзорные органы федерального, регионального и муниципального масштаба используют определенные данные, раскрывающие аспекты хозяйственной деятельности подотчетных им торговых, промышленных и добывающих предприятий, социальных, культурных и образовательных учреждений, правоохранительных и банковских структур, коммуникаций и транспорта, а также о лицах, ведущих индивидуальное предпринимательство [3].

В каждой контрольно-надзорной структуре необходимо сформировать автоматизированную единую базу данных как централизованный внутриведомственный информационный инструмент, оперирующий данными о подлежащих надзору и контролю экономических субъектах. Порядок формирования базы данных может включать в себя получение данных из баз иных государственных органов, в том числе контрольно-надзорных органов, посредством единой системы межведомственного электронного взаимодействия.

Информационная база должна выполнять следующие задачи:

- содержать данные о поставленных под контроль и надзор юридических лицах и индивидуальных предпринимателях;
- стать основой для рубрикации объектов, исходя от вариативных критериев.

Контрольно-надзорные органы должны активно дорабатывать и расширять действующие внутриведомственные информационно-аналитические системы для получения, аккумуляции и обработки сведений относительно экономических субъектов, подлежащих мониторингу и аудиту.

Получение сведений происходит как в результате активной работы персонала надзорного органа и представляет собой акты плановых и внеплановых контрольно-надзорных мероприятий, поступающие жалобы, заявления и предложения, так и сведения, полученные от других официальных структур по запросу или при обмене данными.

Усовершенствование действующей информационно-аналитической системы надзорных органов, в которую включены данные по субъектам контроля и надзора, проводится в рамках трансформации методики работы в пользу риск-ориентированных концепций в деятельности надзорных органов.

Стремление законодателей сформировать единые алгоритмы и регламенты проведения контроля и надзора привели к предписанию надзорным органам активизировать деятельность по аккумуляции и обобщению практических приемов при проведении проверок.

Авторы полагают, что потребность применения методов системного анализа при планировании проверок надзорных органов назрела уже достаточно давно, а освоение автоматизированных информационных технологий позволит оптимизировать деятельность в этой сфере оперативно и эффективно. Так, системный анализ ситуации, в которой

надзорными органами проводятся проверки, позволяет создать оптимальные алгоритмы для решения практических трудностей в подготовке и реализации проверок.

Ответственность за ознакомление и обучение новым методикам проверок среди сотрудников надзорных органов, непосредственно выполняющих проверки, лежит на администрации данной контрольно-надзорной структуры. Единая всероссийская методика проверок позволяет обеспечить гарантию всех субъектов экономической деятельности на федеральном, региональном и муниципальном уровнях [4].

Авторы полагают, что алгоритм выполнения плановых проверок абсолютно логично и рационально закреплен в приказах и постановлениях профильных ведомств, чтобы упорядочить деятельность как самого надзорного органа, так и подконтрольных предприятий, организаций и предпринимателей.

Реализация плановых проверок проводится надзорными органами всех уровней как согласно функциональным полномочиям, так и исходя из запланированного на год плана выполнения проверок предприятий, организаций, компаний, учреждений и отдельных предпринимателей и др.

Законодательно предусмотрены отдельные нормы по составлению планов проверок на следующий год. Данные мероприятия регламентированы положениями ст. 9 ФЗ № 294-ФЗ и отраслевыми Правилами составления годового планирования проверок надзорных органов по отношению к подконтрольным структурам и предприятиям, ведущих предпринимательскую деятельность, сформулированными в постановлении Правительства Российской Федерации от 30 июня 2010 г. № 489 (в ред. от 28 января 2019 г.) «Об утверждении Правил подготовки органами государственного контроля (надзора) и органами муниципального контроля ежегодных планов проведения плановых проверок юридических лиц и индивидуальных предпринимателей» [5].

Составление годового планирования проверок надзорных органов происходит строго по нормативам федерального законодательства и подотчетных ему нормативно-правовых актов, особенно в отношении кратности, интервалов и продолжительности проверок конкретного поднадзорного лица.

Как предписано в положениях ч. 8 ст. 9 ФЗ № 294-ФЗ, поводом для внесения предприятия, организации или предпринимателя в ежегодный план плановых проверок надзорными органами выступает окончание трехлетнего периода после таких мероприятий:

- внесения в государственный реестр субъектов экономической деятельности;
- после подведения итогов по предыдущей плановой проверке и ее полного завершения;
- от момента старта выполнения работ или оказания сервиса, на которые необходимо наличие специального разрешительного сертификата, предусмотренного законодательно.

Однако в нормативно-правовых актах предполагается и редукция сроков относительно предыдущей и ожидающейся плановой проверки до количества более чем два раза за классический трехлетний период. Такая норма содержится в сути ч. 9 ст. 9 ФЗ № 294-ФЗ, а реализуется применительно к тем субъектам экономической деятельности, которые работают в таких отраслях народного хозяйства, как охрана здоровья, образование и социальная поддержка населения, а также функционируют в теплоснабжающей, электроэнергетической, энергосберегающей отрасли, равно как и осуществляют деятельность в сфере оптимизации энергоэффективности производства и коммунального хозяйства [6].

Важно, что к сегодняшнему дню редуцированные сроки между запланированными проверками со стороны надзорных органов прошли правовое закрепление в постановлении Правительства Российской Федерации от 23 ноября 2009 г. № 944 «Об утверждении перечня видов деятельности в сфере здравоохранения, сфере образования и социальной сфере, осуществляемых юридическими лицами и индивидуальными предпринимателями, в отношении которых плановые проверки проводятся с установленной периодичностью» (ПП № 944) исключительно к определенным видам хозяйствования в отрасли охраны здоровья, образовательной и социальной сфере, тогда как реестр видов хозяйствования,

которые могут проверяться нестандартно по частоте для всех теплоснабжающих, электроэнергетических, энергосберегающих предприятий, а также для отрасли оптимизации энергоэффективности еще не прошел согласование и утверждение.

Примечательно, что редуцированные интервалы между плановыми проверками допустимы только для типов контрольно-надзорных мероприятий, оговоренных в ПП № 944 [7].

Критерии отбора предприятий, организаций и предпринимателей для внесения в годовой план планирования проверок системных органов подразумевают и отдельные специфические моменты, прописанные в нормах федерального законодательства для конкретной отрасли.

Так, положения ч. 4 ст. 1 ФЗ № 294-ФЗ детализируют виды мониторинга и аудита, вверенного надзорным органам, которые могут проводиться в особом порядке в отношении организационно-реализационных мероприятий проверки. Типология, предмет, основание, продолжительность и интервалы, плановость и внеплановость могут варьировать, равно как и участие в незапланированных проверочных рейдах работников прокуратуры [8].

Так, поводом для внесения предприятия в годовой план проверок надзорным органом может выступить:

- исполнение полных трех лет от момента внесения предприятия или предпринимателя в государственный реестр экономических субъектов, уполномоченных вести деятельность в отрасли коммуникаций, если сфера функционала субъекта не лицензируется;

- наступление полных двух лет от момента завершения предыдущего планового контрольно-надзорного мероприятия.

Как регламентирует норма ч. 5 ст. 13 Федерального закона «О безопасности гидротехнических сооружений» от 21 июля 1997 г. № 117-ФЗ, поводом для внесения предприятия в список для планирования проверок надзорных органов может стать наступление срока не менее полного года от даты:

- получения экономическим субъектом разрешительного сертификата на пользование гидротехническими объектами;

- истечения полного года от актирования результатов предыдущей запланированной проверки [9].

В положениях п. 8 ст. 7 Федерального закона «О естественных монополиях» от 17 августа 1995 г. № 147-ФЗ предполагается, что внесение предприятия, организации или учреждения в планирование проверок надзорных органов на следующий год возможно в случае окончания года от момента:

- внесения экономического субъекта-монополиста в государственный реестр как юридического лица;

- завершения предыдущей запланированной проверки в отношении обладателя статуса естественного монополиста [10].

Как видно, формирование годового планирования проверок надзорных органов требует четкого обоснования поводов и причин, которыми руководствуются сотрудники федеральных, региональных и муниципальных надзорных органов, выполняя нормы положений ч. 4 ст. 1 ФЗ № 294-ФЗ. Однако данная законодательная норма часто корректируется и нормами отраслевого законодательства. Необоснованное повышение частоты проверок предполагается нерациональным из-за низкой информативности мероприятия, а также отсутствия материалов для аналитического изучения.

## **Литература**

1. О защите прав юридических лиц и индивидуальных предпринимателей при осуществлении государственного контроля (надзора) и муниципального контроля: Федер. закон от 26 дек. 2008 г. № 294-ФЗ. Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».

2. О разработке и утверждении административных регламентов осуществления государственного контроля (надзора) и административных регламентов предоставления



государственных услуг: постановление Правительства Рос. Федерации от 16 мая 2011 г. № 373. Доступ из информ.-правового портала «Гарант».

3. Плаксин С.М., Семенов С.В., Климовская Е.В. Основные тенденции и итоги контрольно-надзорной деятельности в Российской Федерации в 2011–2014 гг. (количественная оценка). М.: Изд. дом Высшей школы экономики, 2015. С. 69.

4. Кнутов А., Плаксин С., Чаплинский А. Государственный и муниципальный контроль (надзор) в отношении граждан. Нормативное регулирование и реализация на практике. М.: ЛитРес, 2019. С. 189.

5. Об утверждении Правил подготовки органами государственного контроля (надзора) и органами муниципального контроля ежегодных планов проведения плановых проверок юридических лиц и индивидуальных предпринимателей: постановление Правительства Рос. Федерации от 30 июня 2010 г. № 489. Доступ из информ.-правового портала «Гарант».

6. Берездивина Е.В. Оценка деятельности контрольно-надзорных органов исполнительной власти // Вопросы государственного и муниципального управления. 2011. № 3. С. 23–37.

7. Об утверждении перечня видов деятельности в сфере здравоохранения, сфере образования и социальной сфере, осуществляемых юридическими лицами и индивидуальными предпринимателями, в отношении которых плановые проверки проводятся с установленной периодичностью: постановление Правительства Рос. Федерации от 23 нояб. 2009 г. № 944. Доступ из информ.-правового портала «Гарант».

8. Домрачев Д.Г. Основные проблемы оптимизации контрольно-надзорной деятельности в свете Послания Президента Российской Федерации Федеральному собранию Российской Федерации от 4 декабря 2014 г. // Вестник Вятского государственного гуманитарного университета. Юридические науки. 2015. № 1. С. 90–95.

9. О безопасности гидротехнических сооружений: Федер. закон от 21 июля 1997 г. № 117-ФЗ. Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».

10. О естественных монополиях: Федер. закон от 17 авг. 1995 г. № 147-ФЗ. Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».

## **ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ КОНЦЕПЦИЯ КОНТРОЛЯ ТОПЛИВНО-ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ УПРАВЛЯЕМОГО ПРОЦЕССА ГОРЕНИЯ В СИЛОВЫХ АГРЕГАТАХ ПОЖАРНЫХ МАШИН**

**Б.В. Гавкалюк, кандидат технических наук;**

**В.Н. Ложкин, доктор технических наук, профессор,  
заслуженный деятель науки Российской Федерации.**

**Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России**

Приводится методология анализа термохимических явлений, составляющих рабочий процесс сгорания углеводородного топлива в цилиндрах силовых агрегатов пожарных машин. Разработанная методология выражает научную концепцию, положенную в теоретическую основу оригинальных методик комплексного технического диагностирования параметров конструктивной топливно-экономической и экологической безопасности силовых агрегатов пожарных машин (пожарных и аварийно-спасательных автомобилей, мобильных дизельных электрических и насосных станций и т.п.) с использованием анализа состава и природы (механизмов) образования отработавших газов в управляемых процессах горения.

*Ключевые слова:* пожарная машина, силовой агрегат, углеводородное топливо, управляемое горение, отработавшие газы, топливная экономичность, токсичность

# THEORETICAL CONCEPT OF CONTROL OF FUEL AND ECOLOGICAL PARAMETERS OF THE CONTROLLED COMBUSTION PROCESS IN POWER ENGINEERING INSTALLATIONS OF FIRE-FIGHTING MACHINES

B. V. Gavkalyuk; V. N. Lozhkin.

Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia

An approach is given to the analysis of thermochemical phenomena that make up the working process of burning hydrocarbon fuel in the cylinders of power units of fire engines. The developed methodology expresses the scientific concept laid down in the theoretical foundations of the original methodology for the comprehensive technical diagnostics of fuel consumption parameters and emission of pollutants from fire engines (fire and rescue vehicles, mobile diesel-electric and pumping stations, etc.), using analysis of the composition and the mechanism of formation of exhaust gases in controlled combustion processes.

*Keywords:* fire engine, power unit, hydrocarbon fuel, controlled combustion, exhaust gases, fuel efficiency, toxicity

Повышение боеспособности и уровня пожарно-экологической безопасности машин специального назначения обеспечивается в настоящее время законодательными актами [1, 2], международными стандартами [3] и научно-техническими средствами [4]. Первые – обеспечивают реализацию в системе Государственной противопожарной службы МЧС России государственных законных актов; вторые – международных стандартов и правил, устанавливающих нормы и процедуры контроля параметров конструктивной безопасности. Третьи – обеспечивают внедрение прогрессивных методов технической диагностики двигателей внутреннего сгорания (ДВС), совершенствование конструкций пожарных машин, использования на них альтернативных видов топлив и т.д. [4–6].

Совершенствование методов контроля надежности и безопасности ДВС пожарных машин требует от разработчиков и эксплуатационников глубокого изучения процесса горения углеводородного топлива и создания, на этой основе, экспериментально расчетных методов безразборной диагностики.

## **Стратегия исследования (научная концепция)**

В эксплуатируемых на пожарных машинах (пожарные и аварийно-спасательные автомобили; транспортируемые на автомобильных шасси насосные и дизель электрические станции и т.п.) силовых агрегатах реализуется управляемый процесс горения углеводородного топлива. Современная технологическая стратегия развития силовых агрегатов пожарных машин (научно-техническая платформа) мотивирована целью решения актуальной глобальной проблемы сокращения потребления углеводородного топлива и эмиссии в окружающую среду токсичных и парниковых продуктов горения. Очевидно, что методология достижения данной цели может вытекать из органической увязки внутренних теплофизических и термохимических явлений организованного рабочего процесса горения в цилиндрах силового агрегата с его потребительскими функциональными топливно-экологическими свойствами на основе разработки и применения, контроле пригодных диагностических инструментальных средств и инженерных методик их реализации в условиях эксплуатации.

Состав и количественные соотношения продуктов горения в отработавших газах (ОГ), являющиеся производными параметрами, от, во-первых, состава сжигаемой рабочей смеси, во-вторых, развиваемых в цилиндрах двигателей температур горения, а также степени завершенности окислительных реакций, очевидно, могли бы стать надежными и достоверными диагностическими критериями. По качественным и численным характеристикам этих критериев, как по факторам-аргументам (посредством установленных научными исследованиями адекватных детерминированных и статистических регрессионных математических моделей),

можно было бы производить достоверные численные оценки отмеченных потребительских свойств пожарных машин, то есть – достигнуть решения поставленной цели.

### Методология

Обоснование термохимической модели горения топлива в силовых установках пожарных машин осуществляется на основе применения теории материального баланса реагирующих веществ.

Источником получения теплоты в ДВС является окисление атомов углерода (С) и водорода (Н). Известно, что кроме углерода и водорода в топливах могут содержаться в малых количествах сера, азотные соединения, кислородсодержащие вещества (спирты, эфиры и т.п.), а также металлы [5, 6]. В табл. 1 приведен основной элементный состав (в % по массе) и характеристики топлив, которые могут использоваться в ДВС и топочных процессах.

Обозначим молекулы топлива как  $C_xH_yO_z$ , азотосодержащие соединения –  $C_xH_yO_zN_g$ , серосодержащие –  $C_xH_yO_zN_gS_k$ . Соотношения масс между химическими элементами и веществами (зола, влага), входящими в топливо, можно представить по аналогии с табл. 1 их массовыми частями, в сумме равных 1 (или 100 %):

$$W_C + W_H + W_O + W_N + W_S + W_3 + W_{вл.}$$

Таблица 1. Основной состав и характеристики топлив пожарных машин

| Топливо                 | Элементный состав, % (по массе) |       |       |       |       | $L_0$ ,<br>кг/кг | $Hu$<br>МДж/кг |
|-------------------------|---------------------------------|-------|-------|-------|-------|------------------|----------------|
|                         | $W_C$                           | $W_H$ | $W_O$ | $W_N$ | $W_S$ |                  |                |
| Водород                 | –                               | 100   | –     | –     | –     | 34,34            | 119,6          |
| Сжатый природный газ    | 71,0                            | 23,2  | 0,4   | 5,3   | 0,1   | 13,63            | 46,9           |
| Сжиженный нефтяной газ  | 84,0                            | 16,0  | –     | –     | 0,01  | 15,1             | 45,5           |
| Метанол $CH_3OH$        | 37,5                            | 12,5  | 50,0  | –     | –     | 6,5              | 19,6           |
| Диметилэфир $CH_3OCH_3$ | 52,2                            | 13,0  | 34,8  | –     | –     | 9,0              | 28,8           |
| Бензин                  | 85,5                            | 14,5  | –     | –     | 0,02  | 14,8             | 44,0           |
| Дизтопливо              | 86,5                            | 13,3  | –     | 0,02  | 0,2   | 14,5             | 41,3           |
| Мазут                   | 85,6                            | 11,3  | 0,5   | 0,3   | 2,3   | 13,8             | 40,9           |
| Каменноугольная пыль    | 80,5                            | 6,0   | 11,5  | 1,5   | 0,5   | 10,8             | 32,3           |

Примечание:  $L_0$  – теоретически необходимое количество воздуха для сжигания топлива;  $Hu$  – удельная по массе теплота, выделяемая при окислении топлива

Для топлив (табл. 1) содержание в мазуте и каменноугольной пыли золы ( $W_3$ ) и влаги ( $W_{вл.}$ ) может достигать значений, соответственно 0,2 и 9 %; для каменноугольной пыли – 10–40 % и 4–15 %.

Уравнения материального баланса записываем по относительному содержанию отдельных элементов в общей массе топлива для условий полного (совершенного) и неполного (несовершенного) его сгорания. Массовые доли  $W$  элементов в 1 кг топлива  $C_xH_yO_z$  устанавливаем [6] по уравнениям:

$$W_C = 12x / (12x + y + 16z) = 12x / M_r; \quad (1)$$

$$W_H = y / (12x + y + 16z) = y / M_r; \quad (2)$$

$$W_O = 16z / (12x + y + 16z) = 16z / M_r, \quad (3)$$

где  $M_r$  – молярная масса молекулы топлива;  $12x$ ,  $y$ ,  $16z$  – массы, соответственно, углерода, водорода, кислорода в молекуле топлива;  $W_C + W_H + W_O = 1$ .

Содержание в бензинах и дизельных топливах кислорода можно считать незначительным. Тогда справедливо записать молекулу топлива как  $C_xH_y$  и выражение для ее молярной массы как  $M_r = 12x + y$ . В принятых обозначениях для смеси газообразных топлив состава  $\sum C_xH_yO_z + N_2$  с объемной (молярной) долей каждого вида газа  $\phi$  имеем такой элементный состав для 1 кмоль ( $1 \text{ м}^3$ ):

- молярная масса газовой смеси:  
 $M_r = \sum (M_{C_xH_yO_z})_i \varphi_i + 28N_2; \sum \varphi_i + \varphi_{N_2} = 1;$
- с массовыми долями элементов в газах:  
 $W_C = 12 \sum x_i \varphi_i / M_r; W_O = 16 \sum z_i \varphi_i / M_r.$

### Полное окисление (идеальное совершенное сгорание)

Для полного окисления топлива соотношение между количеством исходной топливоздушнoй смеси и продуктами сгорания оцениваем по уравнениям химических реакций окисления в предположении того, что: все химические соединения включают атомы отдельных элементов, связанных между собой в известных числовых соотношениях; в процессе реакций окисления атомы, сохраняя индивидуальные качественные признаки, – перегруппировываются. Полное сгорание молекулы топлива  $C_xH_y$  до конечных продуктов диоксида углерода  $CO_2$  и водяного пара  $H_2O$  представляются уравнением материального баланса (реагирующие вещества и продукты реакции – в к·моль) [5, 6]:



то есть из  $x$  атомов С 1-го к·моль  $C_xH_y$  получается  $x$  к·моль  $CO_2$ , количество диоксида углерода  $N(CO_2) = x$ ; из  $y$  атомов Н 1-го к·моль  $C_xH_y$ , –  $y/2$  к·моль  $H_2O$ ,  $N(H_2O) = y/2$ . Для состава продуктов окисления (сгорания) в пересчете на 1 кг топлива ( $1/M_r$  к·моль) можно записать:

$$N(CO_2) = x/M_r = x/(12x + y), \quad N(H_2O) = (y/2)/M_r = (y/2)/(12x + y)$$

и, выразив уравнения через элементный состав, с учетом уравнений (1–3):

$$N(CO_2) = W_C/12, \quad N(H_2O) = W_H/2,$$

то есть в реакции прореагировало  $x+y/4$  к·моль  $O_2$ ,  $N(O_2) = x+y/4$ .

Если топливо содержит кислород ( $C_xH_yO_z$ ), то правая часть уравнения (4) окажется без изменений, а необходимое для окисления топлива количество кислорода (к·моль) уменьшится, соответственно, на величину  $z/2$ :

$$N(O_2) = x + y/4 - z/2.$$

Количество кислорода (к·моль)  $N(O_2)$ , необходимое для полного сгорания топлива (стехиометрическая смесь), выведем из уравнения (4) и получим:

- количество (к·моль)  $O_2$  на 1 к·моль топлива:

$$N(O_2) = x + y/4 = (W_C/12) M_r + (W_H/4) M_r;$$

- количество (к·моль)  $O_2$  на 1 кг топлива:

$$l_0' = N(O_2) M_r = (x + y/4) / (12x + y) = (W_C/12) + (W_H/4);$$

- масса (кг)  $O_2$  на 1 кг топлива:

$$L_0' = l_0' M(O_2) = (32x + 8y) / (12x + y) = (W_C/12) + (8/3)W_C + 8W_H.$$

Тепловой эффект реакции сгорания топлива ( $H_u$ , МДж/кг топлива), идущей до полного его окисления с образованием  $CO_2$  и  $H_2O$ , можно оценить по формуле Д.И. Менделеева:

$$H_u = 34,013 W_C + 125,6 W_H - 10,9 (W_O - W_S) - 2,512 W_{вл}.$$

Необходимая для полного сгорания топлив масса кислорода (кг/кг топлива) определяется по соотношению:

$$m(\text{O}_2) = 0,23 \alpha L_0, \quad (5)$$

где  $L_0$  – стехиометрическое число [5]. Принимая объемную долю содержания кислорода в атмосферном воздухе 21 %, а массовую – 23,2 %, имеем стехиометрическое количество воздуха, потребное для полного сгорания топлива:

– количество (к·моль) воздуха на 1 кг топлива:

$$l_0 = l_0' / L_0 = L_0' / 0,21 = \frac{1}{0,21} (x + y/4) / (12x + y) = \frac{1}{0,21} \left( \frac{W_C}{12} + \frac{W_H}{4} \right);$$

– масса (кг) воздуха на 1 кг топлива:

$$l_0 = l_0' / 0,232 = 138(x + y/4) / (12x + y) = 138 \left( \frac{W_C}{12} + \frac{W_H}{4} \right).$$

Для газовых горючих, как смеси углеводородов состава  $\sum C_x H_y O_z$  с объемными долями  $\phi_i$ ,  $L_0$   $\left( \frac{\text{кмоль}(\text{м}^3)\text{воздуха}}{\text{кмоль}(\text{м}^3)\text{топлива}} \right)$ :

$$L_0 = \sum (x + y - z/2) \phi_i / 0,21.$$

В формуле (5)  $\alpha$  – коэффициент избытка воздуха, который выражает отношение количества воздуха, содержащегося в топливовоздушной смеси  $G_B$ , к минимальному его количеству, которое теоретически требуется для полного сгорания находящегося в горючей смеси топлива  $G_T$ :

$$\alpha = G_B / (G_T l_0),$$

где  $G_T$  – часовой расход топлива, кг/ч;  $G_T l_0$  – минимальное, теоретически необходимое для полного сгорания топлива количество воздуха, кг/ч. При  $\alpha = 1$  – горючая смесь стехиометрического состава; при  $\alpha > 1,0$  – смесь называют «бедной»; при  $\alpha < 1,0$  – «богатой». Для дизельных ДВС  $\alpha = 1,4 - 2,2$  (для номинального режима) и  $\alpha = 4-5$  – (холостых ходов); бензиновых ДВС  $\alpha = 0,8 - 1,2$ . В табл. 2 приведены данные о потреблении кислорода и выделении паров воды, азота и углекислого газа (кг) в результате полного сгорания 1 кг разных видов топлива в воздухе.

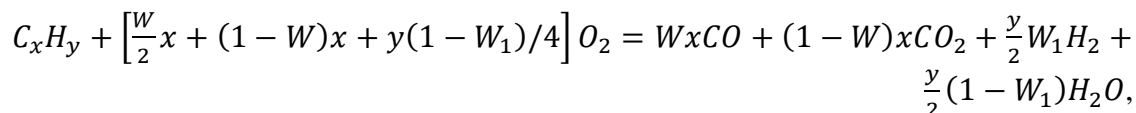
Таблица 2. Соотношения массы кислорода к массам продуктов реакций при полном сгорании в воздухе 1 кг разных видов топлива, кг

| Топливо                                      | Потребление $\text{O}_2$ | Выход веществ в результате сгорания |              |               |
|--|--------------------------|-------------------------------------|--------------|---------------|
|  |                          | $\text{H}_2\text{O}$                | $\text{N}_2$ | $\text{CO}_2$ |
| Водород                                      | 7,94                     | 8,94                                | 26,41        | нет           |
| Сжатый природный газ                         | 3,13                     | 2,25                                | 13,28        | 2,8           |
| Сжиженный нефтяной газ                       | 3,47                     | 1,59                                | 12,0         | 3,0           |
| Метанол                                      | 1,5                      | 1,13                                | 4,98         | 1,37          |
| Диметилэфир                                  | 1,92                     | 1,08                                | нет          | 1,84          |
| Бензин                                       | 3,04                     | 1,46                                | 11,74        | 3,1           |
| Дизтопливо                                   | 3,34                     | 1,29                                | 11,39        | 3,16          |
| Мазут  | 3,17                     | 0,78                                | 10,4         | 3,5           |
| Каменный уголь<br>(в обезвоженном состоянии) | 2,48                     | нет                                 | 8,86         | 3,0           |

Для применяемых видов топлив, в предположении полного (идеального) их сгорания, потребуется от 1,5 до 7,9 кг кислорода воздуха, при этом в атмосферу из цилиндров ДВС произойдет эмиссия от «следовых концентраций» до 3 кг CO<sub>2</sub>, от «следовых концентраций» до 9 кг паров воды и от «следовых концентраций» до 26 кг азота.

### Неполное окисление (реальное несовершенное сгорание)

Если кислорода в топливовоздушной смеси окажется меньше стехиометрического количества, то сгорание будет неполным – часть углерода окислится до оксида СО и часть водорода не прореагирует вовсе. По аналогии с (4) окисление углеводородной молекулы C<sub>x</sub>H<sub>y</sub> можно представить выражением:



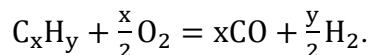
где W – массовая доля углерода, окислившегося до СО; W<sub>1</sub> – массовая доля несгоревшего водорода.

В ОГ появляется несгоревший водород N(H<sub>2</sub>) и оксид углерода N(CO), тогда:

$$N(CO) + N(CO_2) = x; N(H_2) + N(H_2O) = y/2.$$

На 1 кг топлива (к·моль): N(CO).

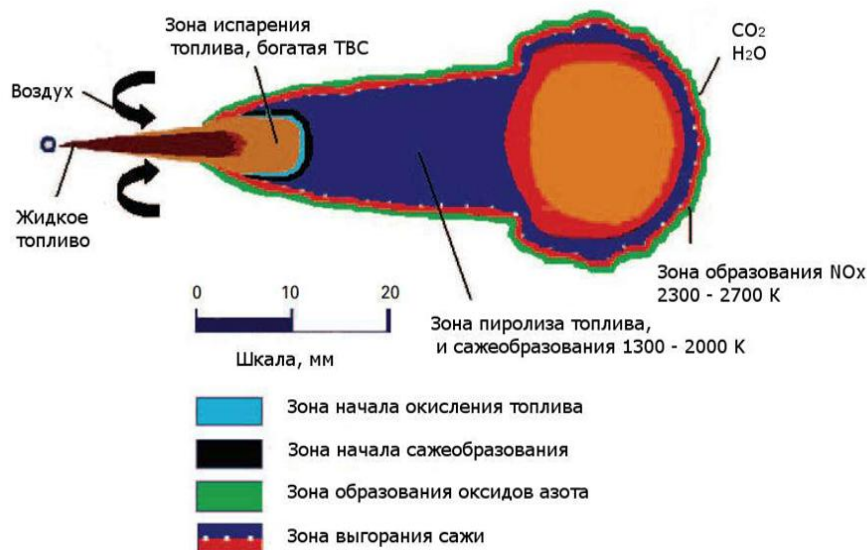
По мере уменьшения количества кислорода в ОГ будет возрастать содержание в них СО и Н<sub>2</sub> и уменьшаться содержание Н<sub>2</sub>О и СО<sub>2</sub>. При W<sub>1</sub>=W=1 в ОГ будут присутствовать только СО и несгоревший водород Н<sub>2</sub>. Уравнение окисления примет вид:



Количество кислорода (к·моль) N(O<sub>2</sub>)=x/2 будет соответствовать условию равенства числа атомов углерода числу атомов кислорода, тогда C/O=1. При дальнейшем уменьшении кислорода в топливовоздушной смеси (C/O>1) в ОГ появляется несгоревший углерод (частицы сажи).

Модель процесса сгорания углеводородного топлива, основанная на детерминированных законах термодинамики, позволяет получить численные количественные соотношения между потребляемым топливом, исходными и конечными продуктами химических реакций горения. Данные непосредственных измерений последних газоанализаторами позволяют с использованием стехиометрического параметра α производить численную оценку (диагностирование) расхода топлива [5, 6].

Разработка методов диагностирования эколого-технических параметров силовых установок пожарных машин с воспламенением от сжатия требует глубокого понимания природы (механизмов) образования продуктов неполного сгорания и характера побочных реакций, протекающих в области распространения топливного факела камеры сгорания (рисунок) [5].



**Рис. Структура зон протекания физико-химических процессов при горении топливного факела в двигателе непосредственного впрыска**

В диффузионном пламени двигателя с воспламенением от сжатия распыленное топливо и воздух (окислитель) диффундируют во фронтальную часть пламени, где в узкой области смешения паров топлива с окислителем протекает химическая реакция и достигается максимальная температура. Со стороны факела к этой области примыкает зона, в которой при отсутствии окислителя происходит термический распад углеводородов (пиролиз) с образованием, наряду с промежуточными продуктами распада, водорода и частиц сажи. Водород, диффундируя во фронт пламени, сгорает, а частицы сажи увеличиваются за счет процессов распада на их поверхности молекул углеводородов и слипания (коагуляции) между собой. Их выгорание при диффузии во фронт пламени происходит мгновенно. Химизм данных процессов и разработанные на этой основе методы диагностики показателей экологической безопасности силовых установок детально проанализированы в работе [6].

### Литература

1. О национальных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации на период до 2024 года: Указ Президента Рос. Федерации от 7 мая 2018 г. № 204. Доступ из инф.-правового портала «Гарант».
2. Об охране атмосферного воздуха: Федер. закон от 4 мая 1999 г. № 96-ФЗ. Доступ из инф.-правового портала «Гарант».
3. О безопасности колесных транспортных средств: Технический регламент Таможенного союза (ТР ТС 018/2011), утв. решением Комиссии Таможенного союза от 9 дек. 2011 г. № 877 // ЭЛЕКТРОННЫЙ ФОНД правовой и нормативно-технической документации. URL: <http://www.docs.cntd.ru> (дата обращения: 11.12.2019).
4. Ложкин В.Н., Веттегрен В.И., Ложкина О.В. Надежность технических систем и техногенный риск: учеб. LAP LAMBERT Academic Publishing RU GmbH & Co. KG, Germany, 2017. 461 с.
5. Ложкин В.Н. Теория и практика безразборной диагностики и каталитической нейтрализации отработавших газов дизелей: дис. ... д-ра техн. наук. СПб.: СПбГТУ, 1995.
6. Теория и практика эколого-технического диагностирования применительно к сервисному обслуживанию автотранспортных средств / В.Н. Ложкин [и др.] // Научно-техническое издание (журнал) НИИ техники и технологии сервиса СПбГУСЭ «Технико-технологические проблемы сервиса». 2008. № 2. С. 6–15.

---

---

# СНИЖЕНИЕ РИСКОВ И ЛИКВИДАЦИЯ ПОСЛЕДСТВИЙ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ. ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ЧС

---

---

## МОДЕЛИРОВАНИЕ АВАРИЙНЫХ СИТУАЦИЙ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ, ИСПОЛЬЗУЮЩИХ ОБОРУДОВАНИЕ, РАБОТАЮЩЕЕ ПОД ДАВЛЕНИЕМ

**О.В. Ударцева, доктор технических наук, профессор.  
Тюменский индустриальный университет**

Рассмотрены технические решения, направленные на снижение аварийных ситуаций оборудования, работающего под избыточным давлением. Моделирование аварийной ситуации показало, что при взрыве парового котла возможны сильные разрушения конструкций и полное разрушение установок ППУ-1600/100. По результатам моделирования разработано техническое решение, направленное на предотвращение взрыва парового котла, благодаря внедрению процесса автоматизированного отключения подачи топлива и воды с помощью установки датчика измерения давления.

*Ключевые слова:* аварийная ситуация, передвижная паровая установка

## MODELING OF EMERGENCY SITUATIONS AT THE ENTERPRISES USING THE EQUIPMENT WORKING UNDER PRESSURE

O.V. Udartseva. Tyumen industrial university

This article describes the technical solutions aimed at reducing the emergency situations of equipment operating under excessive pressure. Modeling of an emergency situation showed that at explosion of the steam boiler, strong destructions of designs and full destruction of installations of PPU-1600/100 are possible. The results of the modeling solution aimed at preventing the explosion of steam boiler, thanks to the introduction of a process for automated shutoff of fuel and water through installation of pressure sensor.

*Keywords:* emergency, mobile steam installation

Обеспечение безопасной эксплуатации оборудования, работающего под избыточным давлением, является одной из наиболее важных и актуальных задач современности.

При эксплуатации данного вида оборудования возникает риск возникновения различных аварийных ситуаций. Аварии, в свою очередь, приводят к разрушению зданий и сооружений, травмам и гибели людей, а так же наносят вред окружающей среде. В связи с этим заблаговременное построение модели развития аварийной ситуации может уменьшить вероятность наступления таких событий с последующей разработкой необходимых организационно-технических мероприятий для защиты людей, территорий и окружающей среды.



В качестве объекта исследования рассмотрена передвижная паровая установка (ППУ-1600/100). Данная установка используется на предприятии, промышленная зона которого находится в черте города. Схема расположения участка, где размещены паровые передвижные установки ППУ-1600/100, представлена на рис. 1.



Рис. 1. Схема расположения ППУ-1600/100

ППУ относятся к категории опасных производственных объектов, на которых используется оборудование, работающее под давлением более 0,07 МПа или при температуре нагрева воды более 115 °С [1].

При эксплуатации ППУ могут возникнуть следующие аварийные ситуации:

- утечка воды из котла (ниже заданного уровня);
- перепитка котла водой выше верхнего заданного уровня;
- разрыв паропровода;
- выход из строя предохранительных клапанов, водоуказательных приборов;
- выход из строя насоса;
- самопроизвольное погасание пламени горелок;
- прекращение подачи топлива;
- пожар внутри ППУ;
- взрыв в топке котлоагрегата с погасанием пламени;
- физический разрыв парового котла.

Сценариев возможных аварийных ситуации, связанных с эксплуатацией ППУ, большое количество [2]. Рассмотрев наиболее распространенные, стоит отметить, что сценарий – «Отказ предохранительных клапанов → взрыв котла → взрыв топливных баков → образование облака топливно-воздушной смеси (ТВС) → взрыв облака ТВС → воздействие на персонал и окружающую среду» является наиболее опасным, так как при реализации именно этого сценария в аварии будет участвовать большее количество опасных веществ. Моделирование данной аварийной ситуации будет производиться путем расчетов необходимых показателей и построением карт-схем при реализации событий, указанных в данном сценарии.

При взрыве в котле происходит мгновенное испарение нагретой свыше 100 °С и находящейся под давлением воды вследствие разрыва стенки, при этом давление в котле понижается. В результате мгновенного испарения воды образуется огромное количество пара (1 л воды, переходя в пар, увеличивается в объеме примерно в 1 700 раз), что в дальнейшем, может привести к большим разрушениям.

Возникает необходимость рассчитать массу и объем образовавшегося пара, который приведет к разрушениям, а так же воздействию на персонал. Расчет проведен по методике ГОСТ Р 12.3.047–2012 «Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Пожарная безопасность технологических процессов. Общие требования. Методы контроля» [3, 4]. Параметры, необходимые для расчета приведены в табл. 1.

Таблица 1. Исходные данные к расчету параметров взрыва

| Параметр                                 | Значение           |
|--|--------------------|
| $\vartheta_B, \text{ м}^3/\text{кг}$     | 0,001044           |
| $h_B, \text{ кДж/кг}$                    | 1399               |
| $h_{BH}, \text{ кДж/кг}$                 | 419,1              |
| $r_{исп}, \text{ кДж/кг}$                | 1329               |
| $\vartheta_{\Pi}, \text{ м}^3/\text{кг}$ | 1,694              |
| $Q_0, \text{ кДж/кг}$                    | $4,52 \times 10^3$ |
| $V_B, \text{ м}^3$                       | 0,48               |

Масса воды до взрыва  $M_B$  определяется как отношение объема воды в котле  $V_B, \text{ м}^3$  к удельному объему кипящей воды при атмосферном давлении в котле  $\vartheta_B, \text{ м}^3/\text{кг}$ :

$$M_B = \frac{V_B}{\vartheta_B}, \text{ кг};$$

$$M_B = \frac{0,48}{0,001044} = 469,77 \text{ кг}.$$

Для определения объема пара, который образуется в результате разгерметизации парового котла, необходимо вычислить приведенную массу кипящей воды:

$$M_{\text{ПР}} = M_B \frac{h_B - h_{BH}}{Q_0}, \text{ кг},$$

где  $h_B - h_{BH}$  – разность энтальпий, кДж/кг;  $Q_0$  – константа, которую в расчетах допустимо принимать  $4,52 \times 10^3$  кДж/кг.

$$M_{\text{ПР}} = 469,77 \frac{1399 - 419,1}{4,52 \times 10^3} = 101,1 \text{ кг}.$$

Масса пара, которая образуется в результате взрыва, определяется по формуле:

$$M_{\Pi} = \frac{M_B (h_B - h_{BH})}{r_{исп}}, \text{ кг},$$

где  $r_{исп}$  – удельная теплота испарения воды при атмосферном давлении, кДж/кг.

$$M_{\Pi} = \frac{469,77 (1399 - 419,1)}{1329} = 346,3 \text{ кг}.$$

Объем пара, который образуется при взрыве, определяется по следующей формуле:

$$V_{\Pi} = M_{\Pi} \times \vartheta_{\Pi}, \text{ м}^3,$$

где  $V_{\Pi}$  – объем пара в котле,  $\text{ м}^3$ ;  $\vartheta_{\Pi}$  – удельный объем пара в состоянии насыщения при атмосферном давлении, принимается  $1,694 \text{ м}^3/\text{кг}$ .

$$V_{\Pi} = 346,3 \times 1,694 = 586,6 \text{ м}^3.$$

Проведенные расчеты позволяют сделать вывод, что при возникновении взрыва парового котла образуется большой объем пара – 586,6 м<sup>3</sup>. В момент разрушения стенок котла, в котором находится перегретая вода, давление резко уменьшается до атмосферного. В результате чего происходит адиабатное (изоэнтропическое) расширение среды. Вода начинает интенсивно испаряться, переходя в пар и образуя его большое количество, что вызывает волну давления.

Одним из главных параметров взрыва расширяющихся паров вскипающей жидкости является избыточное давление. Для анализа зон повреждения и оценки характера повреждений зданий и сооружений возникает необходимость расчета избыточного давления.

Согласно ГОСТ Р 12.3047–2012 [4] избыточное давление  $\Delta P$  рассчитывается по формуле:

$$\Delta P = P_0 \left( 0,8 \frac{M_{\text{ПР}}^{0,33}}{r} + 3 \frac{M_{\text{ПР}}^{0,66}}{r^2} + 5 \frac{M_{\text{ПР}}}{r^3} \right),$$

где  $P_0$  – атмосферное давление, равное 101,3 кПа;  $r$  – расстояние до рассматриваемого объекта, м.

Необходимо рассчитать избыточное давление в зоне размещения паровых установок  $\Delta P_1, \Delta P_2$ , в зоне размещения условного населенного пункта  $\Delta P_3$ :

$$\begin{aligned} \Delta P_1 &= 101,3 \left( 0,8 \frac{101,1^{0,33}}{15} + 3 \frac{101,1^{0,66}}{15^2} + 5 \frac{101,1}{15^3} \right) = 67,8 \text{ кПа}; \\ \Delta P_2 &= 101,3 \left( 0,8 \frac{101,1^{0,33}}{60} + 3 \frac{101,1^{0,66}}{60^2} + 5 \frac{101,1}{60^3} \right) = 23,5 \text{ кПа}; \\ \Delta P_3 &= 101,3 \left( 0,8 \frac{101,1^{0,33}}{500} + 3 \frac{101,1^{0,66}}{500^2} + 5 \frac{101,1}{500^3} \right) = 1,04 \text{ кПа}. \end{aligned}$$

Расчетное значение избыточного давления, образующегося в результате взрыва парового котла, позволяет определить зоны разрушения, табл. 2. [5].

Таблица 2. Классификация зон разрушения

| Класс зоны разрушения | К   | $\Delta P$ , кПа | Зона разрушений        | Вероятные последствия, характер повреждений зданий и сооружений   |
|-----------------------|-----|------------------|------------------------|---|
| 1                     | 3,8 | $\geq 100$       | Полных                 | Полное разрушение зданий с массивными стенами. Условная вероятность смертельного поражения людей – 0,6; тяжелые травмы – 0,37   |
| 2                     | 5,6 | 70               | Сильных                | Разрушение стен кирпичных зданий толщиной в 1,5 кирпича; перемещение цилиндрических резервуаров; разрушение трубопроводных эстакад. Условная вероятность смертельного поражения персонала – 0,49; тяжелые травмы – 0,34 |
| 3                     | 9,6 | 28               | Средних                | Разрушение перекрытий промышленных зданий; разрушение промышленных стальных несущих конструкций; деформации трубопроводных эстакад. Условная вероятность смертельного поражения персонала – 0,01; тяжелые травмы – 0,09 |
| 4                     | 28  | 14               | Слабых                 | Разрушение перегородок и кровли зданий; повреждение стальных конструкций каркасов, ферм. Условная вероятность получения легких травм – 0,5  |
| 5                     | 56  | $\leq 2$         | Повреждение остекления | Граница зоны повреждений зданий; частичное повреждение остекления   |

В зону средних разрушений попадает весь участок размещения установок. Вероятными последствиями при таком взрыве будет разрушение перекрытий, несущих конструкций.

В зону слабых разрушений попадают участки промышленной зоны, вероятными последствиями для такой зоны являются разрушение перегородок и кровли зданий. В зону расстекления попадает автодорога и участок условного населенного пункта. К возможным последствиям можно отнести частичное повреждение остекления. Модель развития аварийной ситуации представлена на рис. 2.



Рис. 2. Модель развития аварийной ситуации при взрыве парового котла:

- зона средних повреждений ( $\Delta P = 67,8$  кПа) – 15,00 м;
- зона легкой повреждений ( $\Delta P = 23,5$  кПа) – 60,00 м;
- зона расстекления ( $\Delta P = 1,04$  кПа) – 500,00 м

При взрыве парового котла произойдет полное разрушение ППУ-1600/100, который может привести к разгерметизации топливного бака с последующим взрывом.

Моделирование наиболее опасного сценария (взрыв парового котла) показало, что в случае аварии возможно полное разрушение конструкции, в которой расположены паровые передвижные установки. Это, в свою очередь, может привести к травмированию персонала.

Для предотвращения взрыва парового котла необходимо рассмотреть возможность установки дополнительного противоаварийного оборудования, а так же разработать техническое решение, направленное на его безопасную эксплуатацию. Как показывает анализ причин аварий, к повышению давления в котле и его последующему взрыву могут привести неисправности предохранительных клапанов. Неисправности, характерные для данного вида устройств, приводят к тому, что при возрастании давления в паропроводе клапан не срабатывает и образуется взрыв. Так как данный вид устройств является наиболее аварийно-опасным, необходимо обосновать возможность автоматизированной остановки производственного процесса путем установки датчика измерения избыточного давления.

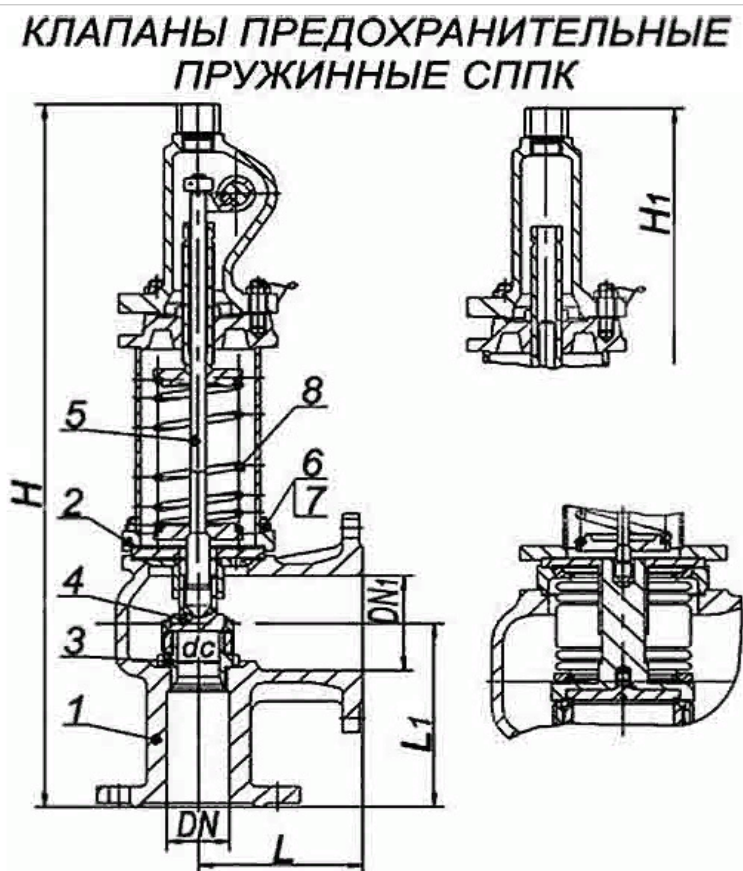
В действующей ППУ для сброса избыточного давления в атмосферу, в целях предотвращения повышения давления в системе, котел оборудован двумя пружинными предохранительными клапанами типа СППК-МР-25-100. Основная характеристика предохранительных клапанов представлена в табл. 3.

**Таблица 3. Технические характеристики  
клапанов предохранительных СППК-МР-25-100**

| Характеристика                                | Клапан   |
|---|--|
|   | СППК-МР-25-100   |
| Номинальный размер (условный проход)          | 25 мм  |
| Температура рабочей среды                     | -40°C – +425 °C  |
| Рабочая среда                                 | Вода, воздух, пар, аммиак, нефть, природный газ, нефтепродукты, жидкие и газообразные углеводороды |
| Пределы давлений настройки на начало открытия | 8–10 МПа   |
| Присоединение к трубопроводу                  | Фланцевое  |
| Устройство для ручного открывания             | Есть   |
| Материал исполнения                           | Легированная сталь   |

Пружинные предохранительные клапаны СППК – МР-25-100 предназначены для защиты оборудования от недопустимого превышения давления посредством автоматического сброса избытка давления и прекращения сброса давления до установленного значения [6].

СППК устанавливается в вертикальном положении, нижним фланцем присоединяясь к защищаемому оборудованию, а боковым (выходным) – к газоотводящей линии. Схема строения предохранительного пружинного клапана представлена на рис. 3.



**Рис. 3. Схема строения предохранительного пружинного клапана СППК:  
1 – корпус; 2 – крышка; 3 – седло; 4 – золотник; 5 – шток; 6 – гайка; 7 – шпилька; 8 – пружина**

При достижении в оборудовании давления, равному давлению срабатывания клапана, происходит его практически мгновенное и полное открытие, вследствие чего избыточное давление стравливается в газоотводящую линию. После снижения давления в оборудовании до давления срабатывания клапана золотник возвращается в исходное положение и сброс среды прекращается.

Для разработки технического решения предложено выбрать датчик измерения избыточного давления, который будет установлен в систему обвязки паропроводов.

В настоящее время широкое применение получили малогабаритные интеллектуальные датчики давления СДВ «Standard». Отличительной особенностью таких датчиков является использование современной микропроцессорной электроники, которая обеспечивает их высокую надежность [7].

Алгоритм работы датчика давления заключается в следующем:

- отказ предохранительного клапана СППК;
- повышение давления в системе;
- датчик СДВ «Standard» под воздействием избыточного давления преобразует сопротивление деформации тензорезистора в электрический сигнал;
- сигнал от датчика избыточного давления поступает на щит управления ДС-050, где загорается индикатор «Авария»;
- автоматически срабатывает датчик-реле, установленный на отсечном клапане патрубка подачи топлива, тем самым отсекая подачу топлива к форсункам котла;
- подача топлива прекращается;
- срабатывание клапана закрытия подачи холодной воды в котел;
- подача холодной воды в котел прекращается.

Таким образом, для повышения уровня безопасности при эксплуатации оборудования, работающего под избыточным давлением, необходимо обеспечить автоматизированный процесс остановки работы оборудования при отказе предохранительных клапанов. Для достижения описанного процесса необходимо установить датчик измерения избыточного давления СДВ «Standard». Процесс автоматизации заключается в том, чтобы при отказе предохранительных клапанов обеспечивалось автоматическое прекращение подачи топлива к форсункам котла и прекращение подачи холодной воды в котел.

Датчик необходимо установить в систему паропроводов предохранительных клапанов, который будет настроен на давление срабатывания, большее, чем давление срабатывания СППК. Так как открытие клапанов СППК начинается при достижении избыточного давления, равного 9,9 МПа и 10,1 МПа, то для полного открытия необходимо давление, равное 10,0 МПа и 10,2 МПа [8]. В этом случае датчик СДВ «Standard» необходимо установить на давление срабатывания, равное 10,3 МПа.

Безопасность технологического процесса должна обеспечиваться совокупностью нормативных, технических, организационных и других мероприятий. Только соблюдение всех мер безопасности поможет предотвратить или не допустить возникновения развития аварийных ситуаций.

### **Литература**

1. О промышленной безопасности опасных производственных объектов: Федер. закон от 21 июля 1997 г. № 116 ФЗ (в ред. от 29 июля 2018 г.). Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».
2. Передвижная паровая установка 1600 техническое описание и руководство по эксплуатации. Челябинск, 2018. 33 с.
3. Карауш С.А. Оценка параметров промышленных взрывов: учеб. пособие. Томск: Изд-во Том. гос. архит.-строит. ун-та, 2014. 96 с.

4. ГОСТ Р 12.3.047–2012. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Пожарная безопасность технологических процессов. Общие требования. Методы контроля. М.: Стандартинформ, 2014. 91 с.

5. Методика оценки последствий аварийных взрывов топливно-воздушных смесей руководства по безопасности от 31 марта 2016 г. № 137. Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».

6. План локализации и ликвидации аварийных ситуаций ООО «Реском–Тюмень» (оперативная часть). Тюмень, 2015. 41 с.

7. Малогабаритные интеллектуальные датчики давления СДВ паспорт, техническое описание и руководство по эксплуатации. СПб., 2018. 43 с.

8. ГОСТ 12.2.085–2017. Арматура трубопроводная. Клапаны предохранительные. Выбор и расчет пропускной способности. М.: Стандартинформ, 2018. 115 с.

## **СПОСОБЫ ОПЕРАТИВНОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОСНОВНЫХ ИСХОДНЫХ ДАННЫХ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ АВАРИЙ ПОДВИЖНЫХ ОБЪЕКТОВ, ПЕРЕВОЗЯЩИХ ОПАСНЫЕ ВЕЩЕСТВА**

**О.Н. Савчук, кандидат технических наук, профессор,  
заслуженный работник высшей школы Российской Федерации;**

**Н.П. Воропаев, кандидат военных наук.**

**Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России.**

**А.А. Аксенов.**

**Главное управление МЧС России по Республике Мордовия, г. Саранск**

Рассматриваются способы оперативного определения основных исходных данных для прогнозирования аварий подвижных объектов, перевозящих опасные вещества. Основными исходными данными при прогнозировании таких аварий являются площадь разгерметизации (пробоины) в цистерне с опасным веществом и ее расположение (высота относительно дна цистерны). Вычисление площади разгерметизации (пробоины) предлагается определять путем сопоставления массы пролитого опасного вещества с массовым расходом жидкости. Расположение отверстия предлагается определять визуально.

*Ключевые слова:* чрезвычайная ситуация, аварийно химически опасные вещества, пожаро-взрывоопасные вещества, площадь разгерметизации отверстия, высота расположения отверстия

## **METHODS FOR RAPID DETERMINATION OF BASIC INITIAL DATA FOR PREDICTION OF ACCIDENTS OF MOBILE OBJECTS CARRYING DANGEROUS SUBSTANCES**

O.N. Savchuk; N.P. Voropaev.

Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia.

A.A. Aksenov.

Main department of EMERCOM of Russia for the Republic of Mordovia, Saransk

The article discusses ways to quickly determine the basic baseline data for predicting accidents of mobile objects carrying dangerous substances. The main baseline for predicting such accidents is the depressurization area (holes) in the hazardous substance tank and its location

(height relative to the tank bottom). Calculation of depressurization area (holes) is proposed to be determined by comparison of mass of spilled dangerous substance with mass flow rate of liquid. The location of the hole is proposed to be determined visually.

*Keywords:* emergency situation, hazardous chemicals, fire-explosive substances, hole depressurization area, hole height

В условиях современной сложной обстановки, связанной с катаклизмами, проходящими в техногенной, природной среде, обеспечение безопасности населения нашей страны является ключевым вопросом. Одну из угроз представляют аварии (разрушения) резервуаров с аварийно химически опасными веществами (АХОВ) и пожаровзрывоопасными веществами на маршрутах их транспортировки.

Так, например, наибольшее количество опасных веществ перевозится автомобильным и железнодорожным транспортом [1].

В общем балансе перевозимых опасных грузов в Российской Федерации до 60 % их составляющих осуществляет автомобильный транспорт на расстояния свыше 400 км, причем более 2 % из них представляют АХОВ. Несмотря на невысокую интенсивность таких аварий при перевозках автомобильным транспортом ( $1,2 \cdot 10^{-6}$ ) [2], последствия их могут представлять опасность для значительного количества людей, так как пути транспортировки опасных грузов в большинстве случаев вынуждено проходят по территории населенных пунктов, что увеличивает риск опасности при перемещении таких опасных объектов.

В связи с возможным ростом террористических актов ущерб от аварий на таких объектах может быть большим, чем при промышленных авариях на опасных объектах [3].

Значительное количество АХОВ и пожаровзрывоопасных веществ, особенно нефтепродуктов, перевозится железнодорожным транспортом. Ежедневно на станциях и участках железных дорог России находятся около 16–20 тыс. вагонов с опасными грузами, а в год ими перевозится до 400 млн т этих грузов. До 50 % всего грузооборота железнодорожного транспорта составляют нефтепродукты (нефть, мазут, бензин, дизельное топливо, сжиженный углеводородный газ), а хлора ежегодно перевозится более 500 тыс. т. Интенсивность аварий на железнодорожном транспорте при перевозке составляет  $3,8 \cdot 10^{-7}$  на один вагон [4]. В связи с ростом плотности населения вблизи железнодорожных объектов и путей возрастает опасность массового поражения людей в случае разгерметизации железнодорожных цистерн с АХОВ и нефтепродуктов при перевозке их в пределах населенных пунктов.

Так, например, в 1988 г. в результате железнодорожной аварии в г. Ярославле произошла разгерметизация трех цистерн с гептилом, что привело к химическому заражению, приведшему к госпитализации 58 человек и значительному объему работ по дегазации места разлива.

12 августа 2006 г. автомобиль ВА3-2110 на железнодорожном переезде на автодороге Б. Игнатово – Ичалки (Республика Мордовия) совершил столкновение с грузовым поездом, в составе которого находились цистерны с АХОВ – амином, амилином и ацетальдегидом. В ходе ликвидации чрезвычайной ситуации одна цистерна с ацетальдегидом воспламенилась. Очаг возгорания был ликвидирован силами МЧС России в течение 30 мин. В результате утечки произошло частичное загрязнение воздуха и почвы, при этом семь человек отравились парами АХОВ.

В настоящее время существует множество методик прогнозирования последствий химических аварий и аварий на пожаровзрывоопасных объектах (ПВОО), которые в большинстве своем рассматривают сценарии аварий в стационарно расположенном месте с полным разрушением резервуаров. Однако при перевозке подвижный резервуар с АХОВ или с нефтепродуктами может подвергнуться частичной разгерметизации на маршруте и в этом случае существует проблема получения данных для оперативного прогнозирования зон распространения химического облака (площади пролива нефтепродуктов) при авариях на подвижных химически опасных объектах (ХОО) и ПВОО.



При разгерметизации цистерн с опасными веществами, перевозимыми железнодорожным и автомобильным транспортом, следует принять наиболее возможные варианты частичной разгерметизации:

- образование отверстия (трещины) в днище цистерны;
- образование отверстия в боковой части цистерны.

Для оперативной оценки последствий аварий на подвижных ХОО и ПВОО в случаях неполной разгерметизации для обоснованного получения данных результатов прогнозирования особенно важно достоверное знание таких параметров, как размеры отверстия (разгерметизации) перевозимого резервуара и расположение его по высоте относительно дна цистерны.

Высоту расположения отверстия относительно дна цистерны предлагается определять визуально. Для чего на резервуары с опасными веществами предлагается наносить горизонтальные метки, начиная от дна цистерны с шагом в 25 см. Таким образом, лица, сопровождающие опасные грузы, при помощи меток могут определить высоту расположения отверстия и передать данные в ситуационный центр, не приближаясь к аварийному резервуару.

В методике прогнозирования последствий при авариях автомобильного транспорта, перевозящего АХОВ [4], количество жидкого опасного вещества на участке торможения  $m_T$  за время разлива до остановки поврежденного транспорта определяется по формуле:

$$m_T = \int_0^{t_{ucm,m}} G(t) dt = \left( G_0 t_{ucm,m} - \frac{\rho_{ж} g \mu^2 S_{омв}^2}{2S_{ем}} \cdot t_{ucm,m}^2 \right), \quad (1)$$

где  $\rho_{ж}$  – плотность жидкости опасного вещества;  $t_{ист.т}$  – время истечения опасного вещества с момента разгерметизации емкости до остановки поврежденного транспорта, определяемое по формуле:

$$t_{ист.т} = t_{р.в} + L_{т.п} / V_{торм}, \text{ с,}$$

где  $t_{р.в}$  – время реакции водителя, с;  $L_{т.п}$  – участок тормозного пути, м;  $V_{торм}$  – усредненная скорость торможения, м/с;  $V_{торм} = V_{тр}/2$ ;  $V_{тр}$  – начальная скорость торможения, м/с;  $G_0$  – массовый расход в начальный момент времени, кг/с, определяемый по формуле:

$$G_0 = \mu \rho_{ж} S_{омв} \sqrt{2g(h_0 - h_{омв})}; \quad (2)$$

$\mu$  – коэффициент истечения, принимаемый равным 0,6–0,8;  $S_{омв}$  – площадь отверстия, м<sup>2</sup>;  $h_0$  – начальная высота столба жидкости в емкости, м;  $h_{омв}$  – высота расположения отверстия, м.

Количество разлитого опасного вещества  $m_{ост}$  после остановки поврежденного транспорта определяется по формуле:

$$m_{ост} = \left( \mu \rho_{ж} S_{отв} \sqrt{2g(h'_0 - h_{отв})} t_{ост} - \frac{\rho_{ж} g \mu^2 S_{отв}^2}{2S_{ем}} t_{ост}^2 \right), \quad (3)$$

где  $h'_0$  – высота столба жидкости в емкости на время остановки, м;  $S_{ем}$  – площадь сечения емкости, м<sup>2</sup>;  $t_{ост}$  – время, исчисляемое от момента остановки до локализации или полного прекращения пролива, с.

Определение массы пролитого вещества по формулам (1–3) возможно при знании площади разгерметизации отверстия  $S_{омв}$  в резервуаре, но получение этой информации в кратчайшие сроки после осуществления опасной аварии весьма проблематично. Это обусловлено тем, что прибытие оперативной группы Центра управления в кризисных

ситуациях (ЦУКС) МЧС России к месту аварии, которая может определить размеры отверстия, по которым возможно определить  $S_{отв}$ , может составить не менее 30–40 мин. Сложность в определении  $S_{отв}$  также состоит в том, что при помощи измерительных инструментов размеры отверстия практически невозможно с достаточной точностью измерить.

Масса пролитой жидкости при частичной разгерметизации может быть определена путем измерения разности уровня жидкости в резервуаре [5]. Расчет уровня жидкости вещества при движении подвижного резервуара осуществляется непрерывно путем фиксации максимального и минимального отклонения от начального уровня на интервале времени, равному 4 с.

$$H = \frac{\frac{h_{1\ min} + h_{1\ max}}{2} + \frac{h_{2\ min} + h_{2\ max}}{2} + \dots + \frac{h_{n\ min} + h_{n\ max}}{2}}{n}, \quad (4)$$

где  $H$  – значение уровня жидкости опасного вещества в резервуаре в текущий момент времени;  $h_{1\ min}$  – минимальное значение уровня жидкости опасного вещества в резервуаре;  $h_{1\ max}$  – максимальное значение уровня жидкости опасного вещества в резервуаре;  $n$  – количество уровнемеров, установленных на подвижном резервуаре с опасным веществом.

Вычисленный уровень жидкости опасного вещества  $H$  сравнивается с начальным уровнем опасного вещества. При этом если  $H < h_0$  более чем на 5 % отличается от  $h_0$ , то путем передачи электрического сигнала происходит информирование об аварии центра кризисных ситуаций. Одновременно в центре кризисных ситуаций производится расчет массы пролитого опасного вещества по сигналам, полученным путем измерения уровней  $H$  и  $h_0$  по формуле (5) (в случае если  $H > R$ ), по формуле (6) (в случае если  $H < R$ ). По массе пролитого опасного вещества согласно [6] в центре кризисных ситуаций осуществляется прогнозирование последствий аварии, на основе которых вырабатываются управленческие решения на проведение оперативных мероприятий по ликвидации последствий аварии.

$$m = \frac{R^2 \cdot L \cdot \rho_{ж}}{2} \left[ \left( \arcsin \left( \frac{2 \cdot \sqrt{R^2 - (h_0 - R)^2}}{R} \right) - \left( \frac{2 \cdot \sqrt{R^2 - (h_0 - R)^2}}{R} \right) - \left( \arcsin \left( \frac{2 \cdot \sqrt{R^2 - (H - R)^2}}{R} \right) - \left( \frac{2 \cdot \sqrt{R^2 - (H - R)^2}}{R} \right) \right) \right) \right], \quad (5)$$

$$m = \pi \cdot R^2 \cdot L \cdot \rho_{ж} - \frac{R^2 \cdot L \cdot \rho_{ж}}{2} \left[ \arcsin \left( \frac{2 \cdot \sqrt{R^2 - (h_0 - R)^2}}{R} \right) - \left( \frac{2 \cdot \sqrt{R^2 - (h_0 - R)^2}}{R} \right) \right] - \frac{R^2 \cdot L \cdot \rho}{2} \left[ \pi - \arcsin \left( \frac{2 \cdot \sqrt{R^2 - (H - R)^2}}{R} \right) + \left( \frac{2 \cdot \sqrt{R^2 - (H - R)^2}}{R} \right) \right], \quad (6)$$

где  $m$  – масса пролитого опасного вещества;  $R$  – радиус резервуара с опасным веществом, м;  $L$  – длина резервуара с опасным веществом, м;  $h_0$  – начальный уровень опасного вещества в резервуаре.

Сопоставив массовый расход жидкости с массой пролитого опасного вещества, определяемые по разности уровня жидкости [5], площадь разгерметизации (отверстия) в резервуаре можно вычислить по формуле (7), в случае если отверстие выше середины цистерны; по формуле (8), если отверстие ниже середины цистерны:

$$S_{\text{отв}} = \frac{\left( \arcsin\left(\frac{2\sqrt{R^2 - (h_0 - R)^2}}{R}\right) - \left(\frac{2\sqrt{R^2 - (h_0 - R)^2}}{R}\right) - \left( \arcsin\left(\frac{2\sqrt{R^2 - (H - R)^2}}{R}\right) - \left(\frac{2\sqrt{R^2 - (H - R)^2}}{R}\right) \right) \right)}{\mu_{\text{ист.т}} \rho_{\text{ж}} \sqrt{2g(h_0 - h_{\text{отв}})}}. \quad (7)$$

$$S_{\text{отв}} = \frac{\pi \cdot R^2 \cdot L \cdot \rho_{\text{ж}} \frac{R^2 \cdot L \cdot \rho_{\text{ж}}}{2} \left[ \arcsin\left(\frac{2\sqrt{R^2 - (h_0 - R)^2}}{R}\right) - \left(\frac{2\sqrt{R^2 - (h_0 - R)^2}}{R}\right) \right] - \frac{R^2 \cdot L \cdot \rho}{2} \left[ \pi - \arcsin\left(\frac{2\sqrt{R^2 - (H - R)^2}}{R}\right) + \left(\frac{2\sqrt{R^2 - (H - R)^2}}{R}\right) \right]}{\mu_{\text{ист.т}} \rho_{\text{ж}} \sqrt{2g(h_0 - h_{\text{отв}})}}. \quad (8)$$

Таким образом, возможно оперативное определение площади разгерметизации (отверстия) в резервуаре с опасным веществом в случае техногенного, природного происшествия или террористического акта.

Информация по площади разгерметизации при перевозке опасных грузов может быть чрезвычайно полезна руководителям аварийно-спасательных формирований в плане выбора метода локализации аварии, а также позволяет оценить достаточность оборудования для ликвидации пробоины.

Предлагаемый способ определения площади разгерметизации, например, при аварии перевозимого резервуара с разливом АХОВ, позволяет оперативно без расчетов определять глубину химического заражения по графикам экспресс-методики [7]. Фрагмент графика экспресс-методики определения глубины химического заражения при разгерметизации цистерны с хлором (масса 47,6 т), перевозимой железнодорожным транспортом, на участке аварийного торможения в условиях: расположение отверстия разгерметизации в боковой части цистерны, инверсия,  $S_{\text{отв}}=0,04 \text{ м}^2$ , скорость ветра  $u=1 \text{ м/с}$ , температура воздуха  $t^{\circ}=+20 \text{ }^{\circ}\text{C}$ , время локализации аварии 15 мин, при начальной скорости торможения 70 км/ч, представлен на рисунке.

По известной массе перевозимого вещества (типовой цистерны), расположения отверстия разгерметизации на цистерне, метеоусловиям, площади разгерметизации, определенной по предлагаемому способу в соответствии со стратификацией атмосферы и начальной скорости торможения, по графику определяется глубина заражения на рассматриваемых участках торможения. Затем наносят глубину химического заражения на карту (схему) и определяют возможную площадь химического заражения селитебной части населенного пункта вдоль железной дороги.

Например, при пробое в боковой части цистерны на высоте 0,5 м при рассматриваемых условиях населенный пункт, удаленный на расстоянии 200 м от железнодорожных путей, будет подвержен химическому заражению при неблагоприятном направлении ветра (под углом  $90^{\circ}$  к движению поезда) на участке аварийного торможения от 700 до 917 м (аварийная остановка). Это позволит оперативно оповестить население в указанном районе и направить силы и средства для локализации аварии.

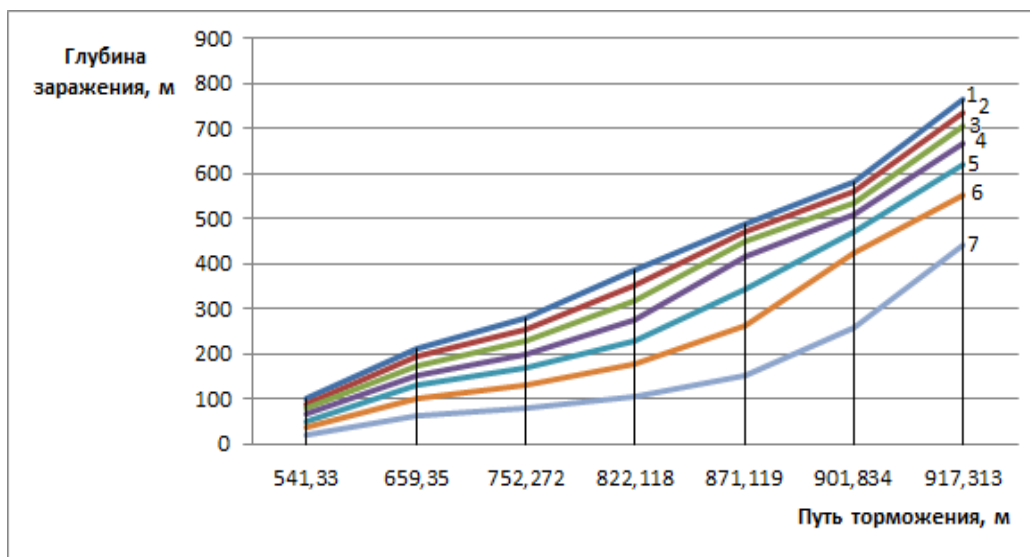


Рис. Зависимость глубины химического заражения на участке торможения от расположения отверстия разгерметизации в боковой части цистерны в условиях инверсии,  $S_{отв}=0,04 \text{ м}^2$ ; масса 47,6 т;  $u=1 \text{ м/с}$ ;  $t^0=+20 \text{ }^\circ\text{C}$ ; время локализации аварии 15 мин, при начальной скорости торможения 70 км/ч, хлор:

- |                                |                                |
|--------------------------------|--------------------------------|
| 1 – пробойна в днище;          | 5 – пробойна на высоте 1 м;    |
| 2 – пробойна на высоте 0,25 м; | 6 – пробойна на высоте 1,25 м; |
| 3 – пробойна на высоте 0,5 м;  | 7 – пробойна на высоте 1,5 м;  |
| 4 – пробойна на высоте 0,75 м; |                                |

Таким образом, этот метод позволяет производить оперативное прогнозирование последствий химической аварии на железнодорожном транспорте без использования ЭВМ в случаях выхода их из строя как в результате технической неисправности, так и в условиях информационной войны.

### Литература

1. Risk management of terrorist attacks in the transport of hazardous materials using dynamic geoevents / Maria Francesca Milazzo [et al] // Journal of Loss Prevention in the Process Industries. 2009. № 22. С. 625–633.
2. Буралев Ю.В. Безопасность жизнедеятельности на транспорте: учеб. 2-е изд. М.: Изд. центр «Академия», 2007.
3. Савчук О.Н., Аксенов А.А., Крейтор В.П. Пути совершенствования методики оценки риска химической опасности при перевозке АХОВ автомобильным транспортом // Пожаровзрывобезопасность. 2018. Т. 27. № 10. С. 46.
4. Савчук О.Н., Антонов С.Ю., Егоров П.А. Химическая безопасность. Выявление и организация ликвидации последствий при авариях (разрушениях) подвижных химически опасных объектов: монография. СПб.: С.-Петербург. ун-т ГПС МЧС России, 2016.
5. Способ оперативного определения массы пролитого опасного химического вещества при аварии перевозимого резервуара: пат. Рос. Федерация № 2700812 С2 / Савчук О.Н., Аксенов А.А.; заявл. 13.03.2018; опубл. 23.09.2019; Бюл. № 27, 2019.
6. Савчук О.Н. Прогнозирование и ликвидация последствий при авариях (разрушениях) подвижных химически опасных объектов: монография. СПб.: С.-Петербург. ун-т ГПС МЧС России, 2014. 357 с.
7. Аксенов А.А., Савчук О.Н. Разработка экспресс-методики по оперативному выявлению последствий аварий (разрушений) на транспорте, перевозящем аварийно химически опасные вещества (АХОВ) // Наука: Теория и практика: материалы Междунар. практ. конф., г. Пшемысль (Польша), 2018 г. Пшемысль: Перемышльский повят, 2018. С. 27–30.

# **ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ОБОСНОВАНИЯ ПЕРЕХОДА НА НОВЫЕ ПОДХОДЫ В ПРОЕКТИРОВАНИИ ИНТЕРФЕЙСОВ ПРОГРАММНЫХ ПРОДУКТОВ МЧС РОССИИ**

**Д.В. Николаев, кандидат педагогических наук, доцент;**

**А.В. Вострых;**

**И.В. Скуртул.**

**Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России**

Внедрение новых технологий и подходов в проектировании пользовательских интерфейсов программных продуктов, используемых в системе МЧС России, позволит улучшить как оперативные показатели реагирования на происшествия, так и качество мониторинга и прогнозирования чрезвычайных ситуаций, что впоследствии приведет к значительному сокращению экономических потерь государства за счет ликвидации происшествий на ранней стадии.

*Ключевые слова:* чрезвычайная ситуация, пользовательский интерфейс, персонаж, проектирование взаимодействия

## **ECONOMIC SUBSTANTIATIONS OF TRANSITION TO NEW APPROACHES IN DESIGN OF INTERFACES FOR SOFTWARE PRODUCTS OF EMERCOM OF RUSSIA**

D.V. Nikolaev; A.V. Vostrykh; I.V. Skurtul.

Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia

The introduction of new technologies and approaches in the design of user interfaces of software products used in the EMERCOM of Russia system will improve both the operational response to fire and rescue units and the quality of emergency monitoring and forecasting, which will subsequently lead to a significant reduction in state economic losses, due to the elimination of incidents at an early stage.

*Keywords:* emergency, user interface, character, interaction design

Происходящие в Российской Федерации экономические, социальные и политические преобразования имеют тесную взаимосвязь с системой обеспечения пожарной безопасности. В настоящее время проблема обеспечения пожарной безопасности объектов национальной экономики является одной из приоритетных стратегических задач нашего общества [1]. Это подтверждается тем, что в последние десятилетия рост числа пожаров, погибших на них людей и размеров экономических потерь от этих происшествий продолжает оставаться на достаточно высоком уровне, хотя и постепенно снижается [2].

Пожарная безопасность является одной из составляющих обеспечения национальной безопасности страны. Обеспечение безопасности на объектах защиты создает условия для поддержания высокого уровня социально-экономического развития нашей страны. Пожары наносят значительный материальный ущерб во всех отраслях, приводя к травматизму и гибели людей.

По статистическим данным, в 2018 г. в России произошло 153 002 пожара, на которых погибло 10 253 человека, получило травмы 11 089 человек, общий ущерб составил 1 8723 313 тыс. руб. [2]. Высокие показатели и тяжесть последствий чрезвычайных ситуаций (ЧС) в нашей стране заставляет рассматривать пожары как серьезную угрозу личности, обществу и государству. Анализируя статистику последних пяти лет, становится заметна плавная положительная тенденция снижения отмеченных показателей, но при всем этом

остается довольно высокой как по числу жертв, так и по количеству материального ущерба, оставляющего заметное воздействие на экономику страны. На рис. 1–4 представлены графики основных показателей за пять лет.

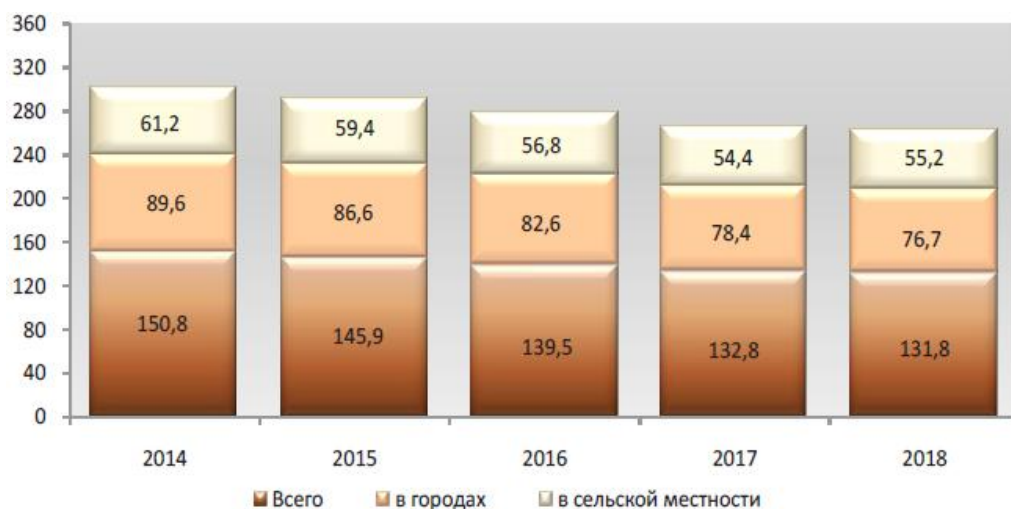


Рис. 1. Количество пожаров в период с 2014 по 2018 гг.



Рис. 2. Количество людей, погибших при пожарах в период с 2014 по 2018 гг.



Рис. 3. Количество людей, травмированных при пожарах в период с 2014 по 2018 гг.

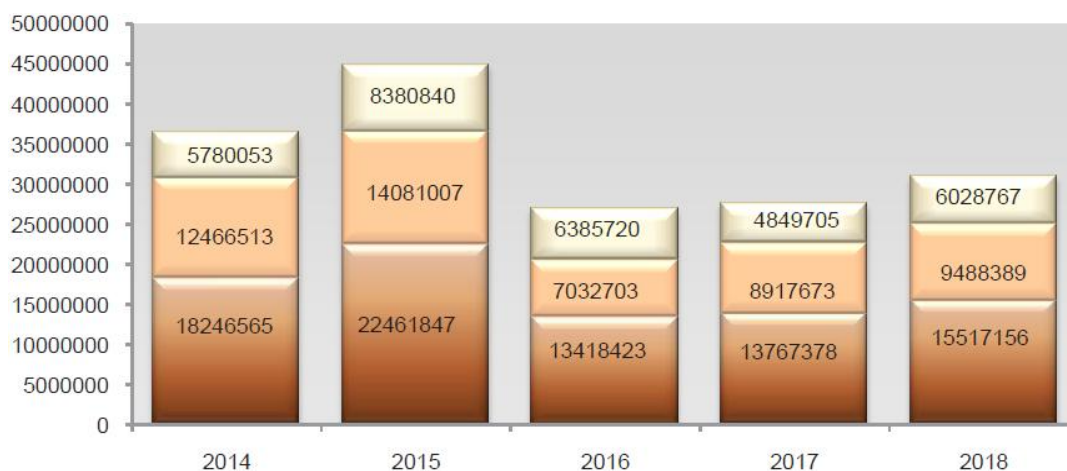


Рис. 4. Материальный ущерб от пожаров в период с 2014 по 2018 гг.

Происшествия и ЧС приводят к снижению экономического и финансового потенциалов территории, затронутых бедствиями. Отсутствие необходимых превентивных мероприятий, недостаточная скорость реагирования и принятия запоздалых управленческих решений приводят к повышенному экономическому ущербу от наступления и развития ЧС, а также увеличению размера средств, выделенных из бюджетов всех уровней, необходимых для ликвидации последствий.

Другими немаловажными экономическими потерями являются затраты, связанные с реагированием на ложные вызовы. По статистике порядка 70 млн руб. в год тратится на выезды по данным сигналам. Несмотря на финансовые потери, ложные звонки нельзя оценивать в денежном эквиваленте. В то время как подразделения тратят время и ресурсы, отработывая на несуществующих происшествиях, на реальных пожарах люди могут не дожидаться помощи либо получить ее несвоевременно, что приведет к человеческим жертвам и большему материальному ущербу.

Одним из сопутствующих решений данных проблем является усовершенствование программных продуктов, используемых специалистами МЧС России, в аспекте пользовательских интерфейсов. Проектирование качественного пользовательского взаимодействия позволит поднять на новый уровень как скорость достижения поставленных задач и целей, так и психофизиологическое состояние специалистов.

Новый подход заключается в проектировании интерфейсов, ориентированных под определенные цели, и мотивы пользователей с учетом их личностных и профессиональных особенностей. Достигается это за счет разработки и внедрения на начальных этапах проектирования «персонажей» (моделей пользователей) целевых аудиторий специалистов.

В структуре МЧС России из всех категорий сотрудников больше всего рабочего времени, потраченного на взаимодействие с профессиональными программными продуктами, проводят три группы сотрудников, это: специалисты дежурной смены «Центра управления в кризисных ситуациях» (специалисты ЦУКС), сотрудники государственного противопожарного надзора (сотрудники ГПН), диспетчера и операторы системы-112 [3].

Для этих выделенных групп приоритетными показателями интерфейсов являются отсутствие или сведение к минимуму вероятности появления ошибок и скорость работы в системе [4, 5]. Современные пользовательские интерфейсы не позволяют добиться этого и не являются человеко-ориентированными по следующим выявленным причинам:

1. Современные пользовательские интерфейсы постоянно бесполезно модернизируются, заставляя пользователей переучиваться и менять сложившиеся привычки, работая с новой версией программы. Это приводит к появлению ошибок в работе и снижению скорости выполнения поставленных задач [6]. Примерами таких программных продуктов, часто используемых сотрудниками МЧС России, являются различные геоинформационные

программы (например MapInfo, «Магистраль», «Лесные пожары», «ГисВодИнфо»), офисные программы Microsoft Office, графические редакторы (Adobe Photoshop, Adobe Illustrator, CorelDraw). Так, интерфейс Microsoft Word с 2007 версии по 2019, изменяясь, становился менее наглядным, усложнялась читабельность элементов управления, пропадала структура, появлялись бесполезные и бессмысленные элементы, возрастала перенасыщенность информацией и управляющими элементами, иногда расставлялись излишние акценты. Например, появление ложной подсветки вкладки «Файл» (в версии программы 2013), хотя она не является активной, в то время как работающая вкладка «Главная» практически неотличима по цвету от остальных.

2. Современные пользовательские интерфейсы вынуждают специалистов МЧС России, как и многих других пользователей, изучать тысячи новых сочетаний клавиш. Почти каждая команда дублируется определенной комбинацией клавиш, тем самым нарушается принцип монотонности интерфейса [6], усложняется процесс обучения и взаимодействия с программой, повышается когнитивная нагрузка. Это приводит к появлению противоречия между скоростью роста количества инструментов в интерфейсе и сложности их освоения, которая в разы возрастает с появлением дублирующих команд [7]. Так, например, в Microsoft Word более 200, в Adobe Photoshop более 80, в MapInfo более 350 сочетаний клавиш, которые дублируют основные команды.

3. Современные интерфейсы не учитывают психологические и физиологические особенности человека. Они переполнены несгруппированными данными и элементами управления. В таком изобилии информационных сигналов локус внимания легко теряется [7], что дает возможность сознанию упустить предупреждение об ошибке или не заметить включенный режим, который также может привести к некорректным результатам. Возникающее при этом противоречие основано на постоянном увеличении умственной нагрузки на пользователя или оператора, в то время как психофизиологические ресурсы человека ограничены и остаются на одном и том же уровне [8].

4. При разработке современных пользовательских интерфейсов производители не учитывают принцип универсальности. Анализируя программные продукты одного направления, можно заметить, что подходы к расстановке одинаковых по функциональности элементов, их группировка, визуальное отображение и даже парадигмы управления во многом отличаются как между схожими программами конкурирующих корпораций (например Corel и Adobe), так и внутренними продуктами одного семейства (например Adobe Photoshop и Adobe Illustrator, CorelDraw и Corel paint shop). Это приводит к противоречию количества целей (которое практически не изменяется) и возрастающему объему навыков, которыми должен обладать специалист. Например, программы компании Adobe (Photoshop, Lightroom, Illustrator) используют разные сочетания клавиш для одинаковых операций: «отмена действия» в Adobe Photoshop Ctrl+Alt+Z, в Adobe Illustrator Ctrl+Z; «изменение масштаба» в Adobe Photoshop сочетание Alt + колесико мыши, в Adobe Lightroom нажатие на клавишу «пробел». Такие же проблемы встречаются в геоинформационных системах, чаще всего при манипулировании инструментом «масштаб» [6]. В таких условиях становится легко допустить ошибку и потерять драгоценное время, корректируя результаты работы.

5. Современные пользовательские интерфейсы предоставляют неопытным пользователям доступ к критичным настройкам, которые могут отразиться на производительности программы, изменить до неузнаваемости внешний вид интерфейса и принципы работы некоторых инструментов [6]. Возврат к первоначальным настройкам может быть крайне затруднен или даже невозможен.

Выявленные недостатки, а также полное отсутствие ориентированности на цели и мотивы «персонажей» напрямую влияют как на основные показатели (количество ошибок и скорость работы в системе), так и на второстепенные, такие как субъективная удовлетворенность, психоэмоциональное состояние, скорость обучения и запоминание навыков [9]. Как было показано выше, специфика работы выделенных категорий специалистов основана на принятии верных решений за минимально короткое время. От скорости принятия



управленческих решений сотрудников ЦУКС зависит как скорость реагирования пожарно-спасательных подразделений на происшествия, так и успех его ликвидации. Например, проведенные исследования показали, что минута лесного пожара обходится государству в 4,3 тыс. руб. [2]. Своевременное реагирование на данные происшествия позволит снизить уровень ущерба и спасти человеческие жизни.

Еще одним направлением деятельности специалистов ЦУКС является прогнозирование и мониторинг складывающейся ситуации на ответственной территории. Своевременное получение тревожного сигнала от сбалансированного и оптимизированного интерфейса, а также мгновенная ответная реакция оператора позволит своевременно отреагировать на неблагоприятно складывающиеся ситуации, с принятием необходимых управленческих решений.

Таким образом, гипотетически, внедрение новых подходов усовершенствования имеющегося программного обеспечения и проектирование нового, в соответствии с разработанными принципами, позволит улучшить показатели в области безопасности жизнедеятельности населения, социально-экономического развития государства и повысить уровень национальной безопасности в широком круге задач.

### **Литература**

1. Программа: «Цифровая экономика Российской Федерации»: распоряжение Правительства Рос. Федерации от 28 июля 2017 г. № 1632-р. Доступ из инф.-правового портала «Гарант».
2. Пожары и пожарная безопасность в 2018 году: стат. сб. / под общ. ред. А.В. Матюшина. М.: ВНИИПО, 2019. 124 с.
3. Корольков А.П. Подготовка персонала в рамках функционирования системы-112: учеб.-метод. пособие: Ч. 1. Операторы центров обработки вызовов. СПО «ПРОТЕЙ», СПО «ИСТОК-С М». СПб.: Галерея проектов, 2015. 120 с.
4. Диспетчерская служба МЧС России: учеб. пособие: Ч. II. Система обеспечения вызова экстренных оперативных служб по единому номеру «112» / М.П. Бородин [и др.]. СПб.: Галерея проектов, 2016. 512 с.
5. Талмач М.С. Методические сценарии учебных занятий по психологической подготовке диспетчеров ЕДДС: метод. рекомендации / под ред. И.Н. Елисеевой, Е.Т. Пак. М., 2013. 224 с.
6. Раскин Д. Интерфейс: новые направления в проектировании компьютерных систем. Символ. СПб.; М., 2007. 257 с.
7. Уэйншенк С. 100 главных принципов дизайна. Как удержать внимание. СПб.: Питер, 2011. 272 с.
8. Купер А., Рейман Р., Кронин Д. Алан Купер об интерфейсе. Основы проектирования взаимодействия. СПб.: Символ-Плюс, 2010. 688 с.
9. Головач В. Дизайн пользовательского интерфейса. Usethics, 2005–2008. 97 с.

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АДАПТИВНОЙ ГИБРИДНОЙ НЕЧЕТКОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ ДЛЯ АППРОКСИМАЦИИ ФУНКЦИЙ**

**А.Ю. Лабинский, кандидат технических наук, доцент.  
Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России**

Рассмотрены особенности использования адаптивной гибридной нечеткой нейронной сети в целях аппроксимации функций многих переменных. Рассмотрен пример использования гибридной адаптивной нечеткой нейронной сети в виде адаптивной нейро-нечеткой системы вывода для аппроксимации функций трех переменных.

*Ключевые слова:* аппроксимация функций, нечеткая логика, адаптивная гибридная искусственная нечеткая нейронная сеть, компьютерная программа, математическая модель

## THE PROBLEM OF USE THE ADAPTIVE HYBRID FUZZY NEURAL NETWORK FOR FUNCTION APPROXIMATION

A.Yu. Labinskiy. Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia

This article presents the problem of use the fuzzy logic and neural networks for approximation the function of many variables. The synthetic adaptive network-based fuzzy inference system to realize in form the mathematical model and computing program.

*Keywords:* function approximation, fuzzy logic, synthetic adaptive hybrid fuzzy neural network, computing program, mathematical model

В процессе создания математических моделей важную роль играет подбор аппроксимирующих зависимостей, который может быть осуществлен с помощью такого универсального средства, как нейронная сеть.

Современный подход к решению вопросов аппроксимации функций заключается в использовании современных направлений компьютерного моделирования процесса аппроксимации функций, одним из которых является использование искусственных четких нейронных сетей [1, 2]. Другим перспективным направлением компьютерного моделирования процесса аппроксимации функций является моделирование с помощью искусственных нечетких нейронных сетей (ННС) [3].

Нечеткие нейронные сети (нейро-нечеткие системы) комбинируют методы искусственных нейронных сетей и систем на нечеткой логике. ННС обычно делятся на два типа [4]:

- ННС, использующие нечеткое моделирование с применением нечеткой системы вывода Мамдани, которое ориентировано на интерпретируемость результатов;
- ННС, использующие нечеткое моделирование с применением нечеткой системы вывода Такаги-Сугено, которое ориентировано на точность результатов.

Использование ННС первого типа для аппроксимации функций было рассмотрено в работе [3]. В данной работе рассматривается использование для аппроксимации функций ННС второго типа, а именно использование адаптивных гибридных ННС.

Адаптивная гибридная ННС, рассматриваемая в данной статье, создана на основе сети ANFIS (adaptive neuro-fuzzy inference system – ANFIS), являющейся адаптивной нейро-нечеткой системой вывода (adaptive network-based fuzzy inference system – ANBFIS). Сеть ANFIS совмещает преимущества нечеткой логики и нейронных сетей.

Нечеткий вывод адаптивной гибридной сети ANFIS соответствует базе нечетких продукционных правил в виде нечетких высказываний-термов «ЕСЛИ-ТО», которые могут быть использованы для обучения адаптивной сети способности аппроксимировать нелинейные функции.

Рассмотрим достаточно простую нечеткую систему вывода Такаги-Сугено с двумя входами и двумя нечеткими продукционными правилами:

$$\begin{aligned} \text{ЕСЛИ } P_{11}(x_1) \text{ И } P_{12}(x_2) \text{ ТО } f_1(x_1, x_2) &= a_1 * x_1 + b_1 * x_2; \\ \text{ЕСЛИ } P_{21}(x_1) \text{ И } P_{22}(x_2) \text{ ТО } f_2(x_1, x_2) &= a_2 * x_1 + b_2 * x_2. \end{aligned}$$

Адаптивная гибридная сеть ANFIS, которая реализует эту нечеткую систему вывода, будет выглядеть следующим образом (рис. 1).

### Адаптивная гибридная нечеткая нейронная сеть

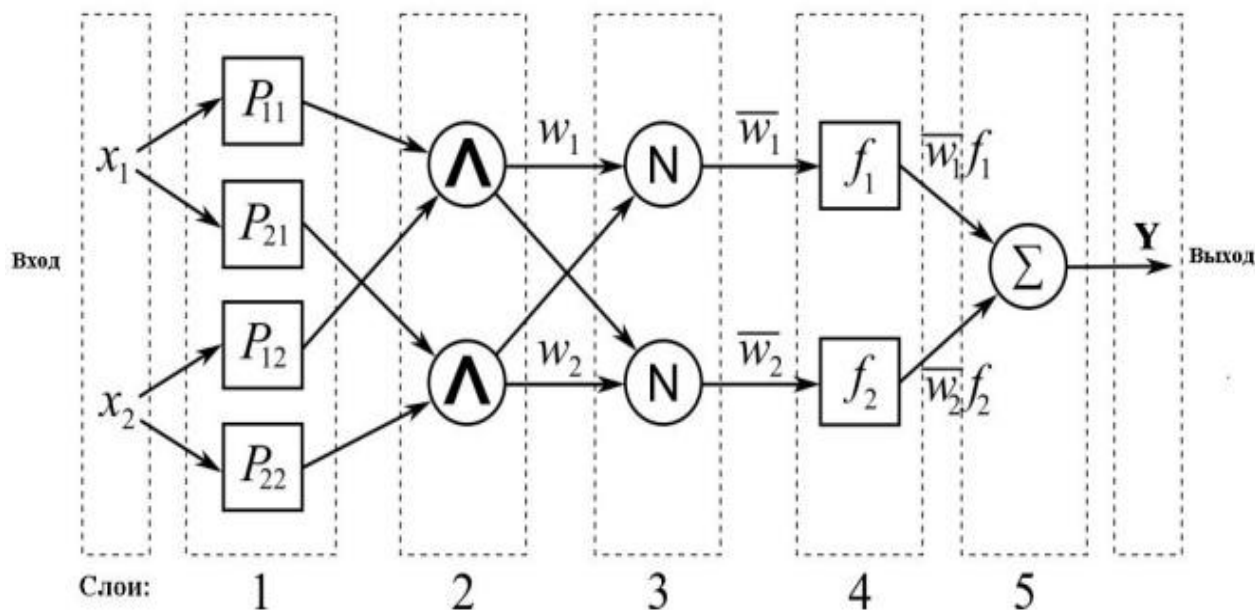


Рис. 1. Адаптивная гибридная ННС

Рассмотрим адаптивную гибридную ННС, представленную на рис. 1, более подробно. Сеть использует гибридный алгоритм обучения. Нейроны в адаптивной гибридной сети ANFIS имеют в каждом слое структуру и назначение, которые соответствуют системе нечеткого вывода и реализуют основные этапы ее работы, включающие в себя [5]:

- фаззификацию входных переменных с помощью функций принадлежности, реализованных нейронами первого слоя;
- агрегирование путем определения истинности условий базы нечетких правил, реализованное нейронами второго слоя;
- активизацию путем определения степени истинности высказываний базы нечетких правил, реализованную нейронами третьего слоя;
- аккумуляцию путем объединения степени истинности высказываний базы нечетких правил, реализованную нейронами четвертого слоя;
- дефаззификацию путем получения четкого значения выходной переменной, реализованную нейроном пятого слоя.

Настройка адаптивной гибридной ННС осуществляется с помощью методов наименьших квадратов и градиентного спуска. Настройка производится в два этапа [5]:

1-й этап: на входы сети подаются значения обучающей выборки, вычисляется разность между желаемым и действительным значениями выхода сети и с помощью метода наименьших квадратов определяются оптимальные значения параметров узлов сети 4-го слоя.

2-й этап: используя величину разности между желаемым и действительным значениями выхода сети, методом градиентного спуска подбираются значения параметров узлов 1-го адаптивного слоя.

Схема работы адаптивной гибридной нейронной сети по аппроксимации функций представлена на рис. 2.



Рис. 2. Схема работы адаптивной гибридной нейронной сети по аппроксимации функций

### Модель адаптивной гибридной ННС

В качестве функций принадлежности первого (входного) и четвертого слоев ННС использовались функции Гаусса вида:

$$\mu_A(X_i) = \exp[-((X_i - C_i)/\sigma_i)^{2*b_i}],$$

где параметр  $\sigma_i=0,2$ ; параметр  $b_i=1$  и параметр  $C_i=0,5$  принимал начальные значения и подлежал настройке в процессе обучения адаптивной нейронной сети.

В качестве обучающей зависимости ННС была использована тестовая функция трех переменных:

$$F_1(X_1, X_2, X_3) = \text{Exp}(X_1+X_2+X_3)/(X_1*X_2^2*X_3^3).$$

Аргументы функций изменялись от 0,5 до 5,0 с шагом 0,5. Данные, подаваемые на вход нечеткой нейронной сети и получаемые с выхода сети, должны быть подготовлены путем масштабирования с целью приведения их к интервалу [0, 1].

Разработанная модель нечеткой нейронной сети была реализована в виде программы для ЭВМ.

Укрупненный алгоритм программы для ЭВМ в виде отдельных модулей представлен в табл. 1 (модуль подключения стандартных библиотек), табл. 2 (модуль определения переменных), табл. 3 (модуль определения массивов переменных), табл. 4 (модуль определения целевой функции) и табл. 5 (модуль аппроксимации).

Таблица 1

| Укрупненный текст модуля на языке CSharp   |
|--|
| <pre> using System; using System.Collections.Generic; using System.Data;     using System.Linq; using System.Text; using System.IO;           </pre> |

Таблица 2

| Укрупненный текст модуля на языке CSharp   |
|--|
| <pre>static int i=0, j=0, k=0, m=0, N=10, NI=0, NS=0; static double x1 = 0.0, x2 = 0.0, x3 = 0.0; static double a = 0.0, b = 0.0, c = 0.0, d = 0.0; static double AP=0.0, apt=0.0, Ymin=0.0, Ymax=0.0, MkY=1.0; static double xn = 0.0, xk = 0.0, dx = 0.0; static double x10 = 0.0, x20 = 0.0, x30 = 0.0;</pre> |

Таблица 3

| Укрупненный текст модуля на языке CSharp   |
|--|
| <pre>static double[ , ] w1 = new double[20,20]; static double[ , ] w2 = new double[20,20]; static double[ , ] w3 = new double[20,20]; static double[ ] ip1 = new double[20]; static double[ ] ip2 = new double[20]; static double[ ] ip3 = new double[20]; static double[ ] ipm1 = new double[10]; static double[ ] ipm2 = new double[10]; static double[ ] ipm3 = new double[10]; static double[ ] op1 = new double[10]; static double[ ] op2 = new double[10]; static double[ ] op3 = new double[10]; static double[ ] opm1 = new double[10]; static double[ ] opm2 = new double[10]; static double[ ] opm3 = new double[10]; static double[ ] nop = new double[10]; static double[ ] nopm = new double[10]; static double[ ] df = new double[10];</pre> |

Таблица 4

| Укрупненный текст модуля на языке CSharp  |
|---|
| <pre>private static double TF(double x1, double x2, double x3) { return Math.Exp(x1+x2+x3)/(x1*x2*x2*x3*x3*x3); }</pre> |

Таблица 5

| Укрупненный текст модуля на языке CSharp   |
|--|
| <pre>private static void Calc( ) { Console.WriteLine(«АДАПТИВНАЯ ГИБРИДНАЯ НЕЧЕТКАЯ НЕЙРОННАЯ СЕТЬ»); Console.WriteLine(« (за основу взята нейро-нечеткая сеть ANFIS)»); Console.WriteLine(«Моделирование аппроксимации функции»); Console.WriteLine(« трех переменных нейронной сетью»); Console.WriteLine(« Функция F(x1,x2,x3)=Exp(x1+x2+x3)/»); Console.WriteLine(« (x1*x2*x2*x3*x3*x3)»); Console.WriteLine(« ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ»); Console.WriteLine(« Массивы заданных входных и выходных значений»); Data( ); CalcMF(0, ipm, CG); Console.WriteLine(« ОБУЧЕНИЕ НЕЙРОННОЙ СЕТИ»); TrainW(0,ipm, opm, w1); Console.WriteLine(«АППРОКСИМАЦИЯ НЕЙРОННОЙ СЕТЬЮ»); Aprox(0, ipm, opm, ws); for (i = 0; i &lt; N; i++) Console.Write("{0:F3};", op[i]); Console.ReadKey(); }</pre> |

Окно вывода программы представлено на рис. 3.

```

F:\Education\ICSP\Program\NN_Approx\Con_AFNN_Approx.exe
ГИБРИДНАЯ НЕЧЕТКАЯ НЕЙРОННАЯ СЕТЬ
(за основу взята нейро-нечеткая сеть ANFIS)
Поделивание аппроксимации функции
трех переменных нейронной сетью
Функция F(x1,x2,x3)=Exp(x1+2*x2*x3)
(x1=2*x2*x3*x3)
Аргументы меняются от 0,5 до 5,0 с шагом 0,5
Заданная точность аппроксимации E=0,001
ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ
Массивы заданных входных и выходных значений
Массив аргумента: op1[i]=X1; @Corrn1[i]=K1
0,500;1,000;1,500;2,000;2,500;3,000;3,500;4,000;4,500;5,000;
0,000;0,111;0,222;0,333;0,444;0,556;0,667;0,778;0,889;1,000;
X2=2,5; X3=2,5; Массив op1[i]=F(X1); @Corrn1[i]=K1
1,252;1,240;0,786;1,020;1,069;0,958;0,996;1,010;0,993;0,997;
1,000;0,974;0,000;0,501;0,607;0,369;0,450;0,497;0,443;0,453;
Массив аргумента: op2[i]=X2; @Corrn2[i]=K2
0,500;1,000;1,500;2,000;2,500;3,000;3,500;4,000;4,500;5,000;
0,000;0,111;0,222;0,333;0,444;0,556;0,667;0,778;0,889;1,000;
X1=2,5; X3=2,5; Массив op2[i]=F(X2); @Corrn2[i]=K2
1,357;1,382;1,068;0,493;-0,203;-0,849;-1,287;-1,410;-1,188;-0,675;
0,991;1,000;0,888;0,682;0,433;0,201;0,044;0,000;0,000;0,263;
Массив аргумента: op3[i]=X3; @Corrn3[i]=K3
0,500;1,000;1,500;2,000;2,500;3,000;3,500;4,000;4,500;5,000;
0,000;0,111;0,222;0,333;0,444;0,556;0,667;0,778;0,889;1,000;
X1=2,5; X2=2,5; Массив op3[i]=F(X3); @Corrn3[i]=K3
-0,306;0,000;0,177;0,306;0,409;0,497;0,575;0,646;0,712;0,774;
0,000;0,283;0,447;0,566;0,662;0,744;0,816;0,882;0,942;1,000;
ОБЫЧНЫЕ НЕЙРОННОЙ СЕТИ
  
```

Рис. 3. Окно вывода программы

Далее были выполнены вычислительные эксперименты на ЭВМ, в результате которых были получены величины средней ошибки аппроксимации, вычисленные по формуле:

$$E_{срi} = (|y_i - y_i^*| / y_i) * 100 [\%],$$

где  $y_i$  – значения тестовой функции,  $y_i^*$  – значения, полученные на выходе ННС. Значения средней ошибки аппроксимации представлены на рис. 4–6.

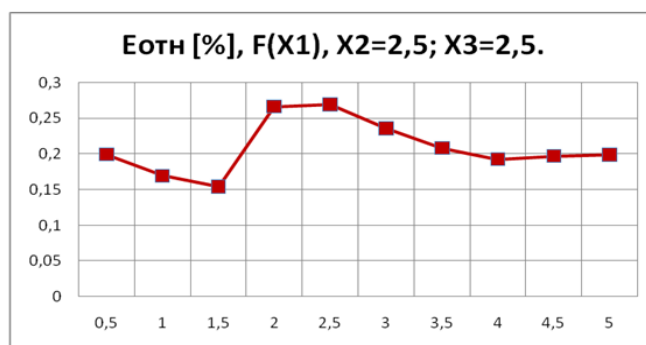


Рис. 4. Средняя ошибка аппроксимации Eотн [%] при фиксированных значениях аргументов X<sub>2</sub> и X<sub>3</sub>

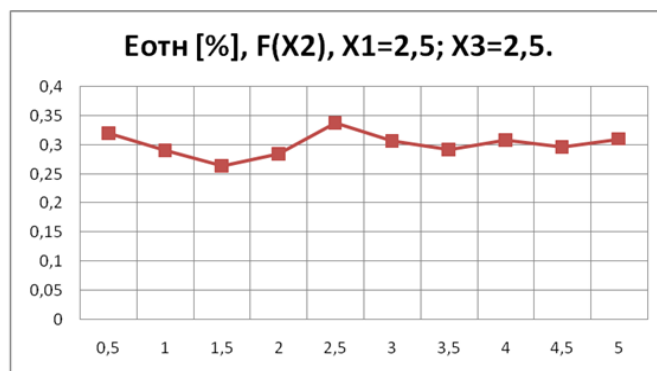


Рис. 5. Средняя ошибка аппроксимации Eотн [%] при фиксированных значениях аргументов X<sub>1</sub> и X<sub>3</sub>

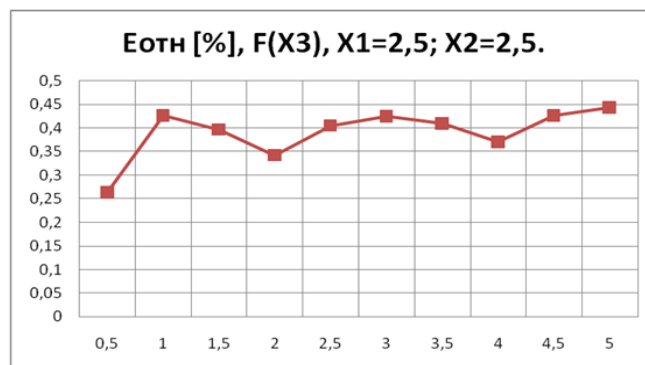


Рис. 6. Средняя ошибка аппроксимации Eotn [%] при фиксированных значениях аргументов  $X_1$  и  $X_2$

Результаты компьютерного моделирования путем проведения вычислительных экспериментов на ЭВМ показали, что созданная компьютерная модель искусственной адаптивной гибридной ННС в виде программы для ЭВМ способна обеспечить аппроксимацию функций трех переменных с приемлемой точностью.

#### Литература

1. Лабинский А.Ю. Перспективные направления компьютерного моделирования сложных процессов и систем: монография. СПб.: С.-Петербург. ун-т ГПС МЧС России, 2017.
2. Лабинский А.Ю., Уткин О.В. К вопросу аппроксимации функции нейронной сетью // Природные и техногенные риски (физико-математические и прикладные аспекты). 2016. № 1. С. 5–11.
3. Лабинский А.Ю. Аппроксимация функций многих переменных нечеткой нейронной сетью // Природные и техногенные риски (физико-математические и прикладные аспекты). 2017. № 2. С. 11–17.
4. Борисов В.В., Круглов В.В., Федулов А.С. Нечеткие модели и сети. М.: Горячая линия – Телеком, 2007.
5. Хижняков Ю.Н. Алгоритмы нечетко-нейронного управления в системах реального времени: учеб. пособие. Пермь: ПНИПУ, 2013.

## МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ИСПЫТАНИЙ ОБРАЗЦОВ ПРИ ОСКОЛОЧНОМ ПОРАЖЕНИИ ЭЛЕМЕНТАРНОГО ОБЪЕКТА

**А.Ю. Туманов, кандидат технических наук, доцент;**

**В.В. Монашков, кандидат технических наук, доцент;**

**В.А. Туманов.**

**Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого**

Разработана методика проведения испытаний образцов в целях определения по экспериментальным данным параметров закона распределения случайной скорости встречи осколков разрушенных конструкций промышленного объекта с заданной преградой и глубины его внедрения в нее. Разработанная методика проведения испытаний образцов позволяет в дальнейшем определить по экспериментальным данным параметры факторного закона воздействия случайной скорости встречи осколков разрушенных конструкций промышленного объекта с заданной преградой и глубины внедрения в нее.

*Ключевые слова:* оценка, ущерб, техногенная авария, потенциально опасные объекты, чрезвычайная ситуация

# METHODS OF TESTING SAMPLES IN CASE OF FRAGMENTATION OF AN ELEMENTARY OBJECT

A.Yu. Tumanov; V.V. Monashkov; V.A. Tumanov.  
Saint-Petersburg Peter the Great politechnic university

Methodology of conducting ballistic testing of samples in order to determine by experimental data parameters of random meetings speed distribution law of fragments of destroyed structures for industrial object with the given barrier and the depth of its implementation. The developed method of testing samples allows you to define the parameters of the factor by experimental data log-normal random effects law speed meeting splinters of the destroyed industrial designs object with the specified barrier and depth of implementation.

*Keywords:* assessment, damage, technological accident, potentially dangerous objects, emergency situation

Безопасность в чрезвычайных ситуациях (ЧС) в той или иной степени связана с измерениями, а для лиц, связанных с анализом и оценкой риска ЧС, оценивание опасности и измерение величин поражающих факторов составляют основное содержание их работы [1]. В основе любых измерений лежат прямые измерения, в ходе которых находят некоторое числовое значение физической величины.

Целью данной работы является разработка методики проведения испытаний образцов в целях определения по экспериментальным данным параметров закона распределения случайной скорости встречи осколков разрушенных конструкций промышленного объекта с заданной преградой и глубины его внедрения в нее.

Задачи, которые необходимо решить для реализации цели следующие:

- разработка схемы испытательной установки для исследования изолированного действия поражающих факторов (ПФ) источников ЧС;
- разработка методики проведения баллистических испытаний образцов в целях определения по экспериментальным данным параметров закона распределения случайной скорости встречи осколков разрушенных конструкций промышленного объекта с заданной преградой и глубины его внедрения в нее.

В ходе исследования разработана схема испытательной установки для исследования изолированного действия ПФ источников ЧС (рис. 1).

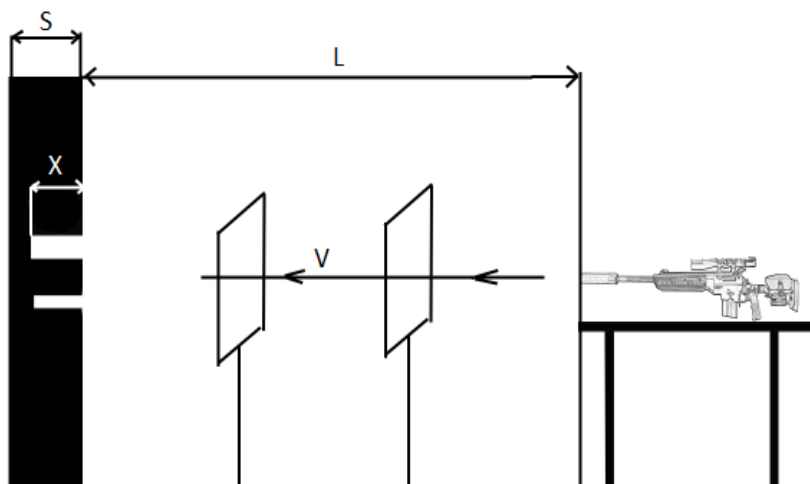


Рис. 1. Схема испытательной установки для исследования изолированного действия ПФ источников ЧС



В ходе работы для расчетно-экспериментального исследования стойкости образцов при воздействии высокоскоростных осколков на основании примерной методики и ГОСТ Р 5 0744, ГОСТ Р 51659–2000 автором для проведения испытаний в лаборатории «Техносферная безопасность» (Высшая школа техносферной безопасности СПбПУ Петра Великого) (ВШТБ СПбПУ Петра Великого) разработана методика № 1/19 проведения баллистических испытаний образцов в целях определения по экспериментальным данным параметров закона распределения случайной скорости встречи осколков разрушенных конструкций промышленного объекта с заданной преградой и глубины его внедрения в нее [2, 3]. Ниже приведены основные положения разработанной методики.

#### 1. Общие положения.

1.1. Настоящая методика распространяется на порядок и условия проведения баллистических испытаний в рамках НИР ВШТБ образцов из различных материалов в целях определения по экспериментальным данным параметров закона распределения случайной скорости встречи осколков разрушенных конструкций промышленного объекта с заданной преградой и глубины его внедрения в нее.

1.2. Целью баллистических испытаний образцов является определение по экспериментальным данным параметров закона распределения случайной скорости встречи осколков разрушенных конструкций промышленного объекта с заданной преградой и глубины его внедрения в нее, регламентированного требованиями ГОСТ Р 5 0744, ГОСТ Р 51659–2000.

На фиксированной скорости встречи  $V_1$  необходимо провести порядка 30–50 испытаний и в каждом определить глубину внедрения поражающих элементов в преграду. После этого необходимо определить параметры условного закона распределения.

Таких скоростей  $V_1$  должно быть четыре–пять и на каждой из них должен быть определен условный закон распределения случайной глубины внедрения.

1.3. Под противоосколочной стойкостью образцов понимается их способность противостоять внедрению или пробитию при воздействии поражающими элементами (пулями или осколками) из стрелкового оружия на дистанции, установленной требованиями нормативно-технической документации (НТД).

1.4. Внедрением в преграду считается событие, при котором в результате воздействия образец не пробит насквозь, а поражающие элементы или осколки не вышли за тыльную сторону образца.

1.5. За показатель, характеризующий стойкость образца из материала, принимается расстояние в глубину (мм) образца под заданным углом попадания пули ( $90\pm 5$ ) от входного отверстия до места, где остановилась пуля.

1.6. Зачетным выстрелом, кроме случаев специально предусмотренных программой испытаний, считается выстрел, при котором:

– место попаданий пуль должно быть на расстоянии не менее пяти калибров от предыдущего попадания (в случае регламентирования требованиями ГОСТ Р 50744 применения двух видов оружия) и от края образца;

– заданный угол попадания пули должен составлять ( $90\pm 5$ ) градусов к поверхности образца;

– скорость пули должна соответствовать табл. 1 ГОСТ Р 50744.

1.7. Испытания проводятся Испытательным центром специальных материалов и изделий (ИЦ СМИ), при этом допускается участие в проводимых работах представителей ВШТБ СПбПУ Петра Великого.

1.8. Образцы, направляемые на испытания, должны иметь маркировку – номер партии и номер образца, а также сопроводительные документы (Акт отбора образцов от партии, результаты замера твердости, и др.).

#### 2. Условия и порядок проведения испытаний.

##### 2.1. Условия испытаний.

2.1.1. Все испытания; проводятся при нормальных климатических условиях в соответствии с ГОСТ 15150:

– температура плюс ( $25\pm 10$ ) °С;

– относительная влажность (45–80) %.

2.1.2. При проведении работ испытываемый образец и оружие располагаются таким образом, чтобы обеспечить обстрел объекта по нормали с погрешностью не более 5 градусов и на требуемой дистанции в соответствии с НТД.

2.2. Порядок проведения испытаний.

2.2.1. Оружие размещают на стенде крепления оружия «Трасса».

2.2.2. Образец преграды закрепляется в приспособлении из сухой сосновой древесины в виде параллелепипеда высотой (50–70) см и длиной сторон в основании (30–50) см. В качестве подложки используют листовой войлок по ГОСТ 6418 толщиной (20±3) мм.

2.2.3. Образец закрепляется при помощи струбцин, обеспечивая тем самым плотное прилегание образца к поверхности приспособления в предполагаемой точке воздействия осколка.

2.2.4. Для измерения скорости пули за дульным срезом на расстоянии от него в метре (определенного НТД) устанавливается регистратор скорости полета поражающих элементов РС-4М с погрешностью измерения скорости пули не более ±1,0 %. Работоспособность и готовность к измерению проверяют в порядке, изложенном в руководстве по эксплуатации регистратора скорости РС-4М.

2.2.5. На испытываемом образце отмечают точку прицеливания и наводят оружие с помощью диоптрического прицела, обеспечивая при этом угол попадания пули (90±5) градусов к поверхности элемента образца.

2.2.6. Далее в предполагаемую точку воздействия производят выстрел. На каждом выстреле измеряют скорость осколка, а результат воздействия на образец фиксируют. Глубина внедрения измеряется электронным прибором-глубиномером в соответствии с инструкцией по эксплуатации прибора.

2.2.7. Обстрел испытываемого образца производят в объеме одного выстрела. В случае регламентирования требованиями ГОСТ Р 50744 применения двух видов оружия обстрел производят в объеме одного выстрела из каждого оружия.

2.2.8. Оценка поражения осуществляется в соответствии с п.п. 1.3–1.6 настоящей методики.

2.2.9. Результаты испытаний оформляют протоколом по форме, изложенной в Руководстве по качеству РЦ СМИ.

3. Материально-техническое и метрологическое обеспечение испытаний.

3.7. Оружие и боеприпасы в соответствии с табл. 1 ГОСТ Р 50744.

3.2. Стенд «Трасса».

3.3. Регистратор скорости полета пули РС-4М с погрешностью измерения скорости пули не более 1,0 %.

3.4. Гигрометр психрометрический ВИТ-1.

3.5. Линейка металлическая.

3.6. Рулетка металлическая.

3.7. Глубиномер электронный (рис. 2).

4. Требования безопасности.

4.1. При проведении испытаний необходимо руководствоваться действующими на рабочих местах инструкциями по технике безопасности проведения работ, разработанными в соответствии с требованиями стандартов и с учетом специфики проводимых испытаний.

5. Требования к квалификации испытателей.

5.1. К испытаниям допускаются лица, обученные обращению с баллистическими системами, боеприпасами к ним, измерительными системами, прошедшие инструктаж по охране труда, полный курс обучения, проверку на подготовленность и сдавшие зачет комиссии.

В ходе исследования по разработанной авторами методике получены результаты испытаний, занесенные в протоколы испытаний. Из протоколов испытаний перенесем данные по глубинам внедрения осколков  $x_i$  и их скоростям  $v_i$  при подлете к преграде в таблицы для статистической обработки определения формы факторного закона воздействия (ФЗВ) [4].



Рис. 2. Измерение глубины пробоин в преграде в ходе испытаний

Испытания проводились для различных скоростей осколков и различных материалов в рамках исследования изолированного действия ПФ источников ЧС. Испытательная установка после доработки позволяет проводить исследования комбинированного действия двух ПФ [1, 5, 6]. Таким образом, исходя из изложенного, можно сделать вывод, что разработанная методика проведения испытаний образцов позволит определить по экспериментальным данным параметры ФЗВ случайной скорости встречи осколков разрушенных конструкций промышленного объекта с заданной преградой и глубины внедрения в нее.

Продолжением исследований в данной области является статистическая проверка гипотез о виде ФЗВ, как предложено в работе [7].

### Литература

1. Кармишин А.М., Киреев В.А. Математические методы фармакологии и токсикологии: монография. 2-е изд., перераб. и доп. М.: МГТУ им. Баумана, 2008.
2. Moody F.J. Maximum consumption of single-component, two-phase mixture // Proceedings Of ASME. Heat transfer 2. 1971. pp. 47–56.
3. Туманов А.Ю., Гуменюк В.И. Научно-методические основы оценки риска чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера на опасных технических объектах: монография. СПб.: С.-Петербург. политехнический университет Петра Великого, 2018. 135 с.
4. Petrov G., Tarmaev A. Modeling of railway vehicles movement having deviations in the content of running parts // Proceedings of the International Conference «Aviamechanical Engineering and Transport» (AVENT 2018). Series: Advances in Engineering Research, Atlantis Press, 2018. Vol. 158. Pp. 410–415. DOI:10.2991/avent-18.2018.79.
5. Tumanov A., Gumenyuk V., Tumanov V. Development of advanced mathematical predictive models for assessing damage avoided accidents on potentially-dangerous sea-based energy facility // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science 19. Series: «Energy Management of Municipal Transportation Facilities and Transport, EMMFT 2017». 2017. С. 012027.

6. Kulinkovich A.V., Sakova N.V., Tumanov A.Yu. Development of the Express Method for Controlling Uranium Compounds in Natural Waters in Emergency Situations on Floating Nuclear Thermal Power Plants // IOP Conf. Ser.: Earth Environ. 2019. Sci. 272. № 022016.

7. Tumanov A. Risk Assessment of Accidents During the Transportation of Liquid Radioactive Waste in Multimodal Transport // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 272. 2019. № 032078.

## **ОБЗОР ЗАРУБЕЖНЫХ ПОДХОДОВ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ДЫМА ПРИРОДНЫХ ПОЖАРОВ И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ЕГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА БЕЗОПАСНОСТЬ ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ**

**О.В. Ложкина, доктор технических наук,  
кандидат химических наук, доцент.  
Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России**

Статья посвящена обзору зарубежных подходов для моделирования распространения дыма природных пожаров и прогнозирования его воздействия на безопасность дорожного движения. Рассмотрены относительно простые модели VSMOKE и SASEM, базирующиеся на предположении о стационарности атмосферы и использующие в качестве математического принципа расчета распределение Гаусса, и нестационарная Лагранжево-Гауссова модель CALPUFF, относящаяся к так называемым puff-моделям. Проанализированы их преимущества и недостатки.

*Ключевые слова:* безопасность в чрезвычайных ситуациях, природные пожары, моделирование, загрязнение воздуха, безопасность дорожного движения

## **A REVIEW OF FOREIGN APPROACHES FOR THE MODELLING OF SMOKE DIFFUSION FROM WILDFIRES AND FORECAST OF ITS EFFECT ON ROAD SAFETY**

O.V. Lozhkina. Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia

The present paper describes foreign approaches for modeling the transport and diffusion of wildfire smoke and predicting its impact on road safety. The paper considers relatively simple VSMOKE and SASEM models based on the assumption of steady-state atmosphere and using the Gauss distribution as a calculation principle, and the non-steady-state Lagrangian-Gaussian CALPUFF model related to the so-called puff-models. The paper also analyzes their advantages and disadvantages.

*Keywords:* emergency safety, wildfires, modelling, air pollution, road safety

Проблема загрязнения атмосферного воздуха продуктами горения природных пожаров, распространяющихся на десятки и даже сотни километров от источника, на локальном, региональном и трансграничном уровне чрезвычайно актуальна для Российской Федерации и для многих зарубежных стран [1–4]. Как показали недавние лесные пожары в Австралии, Греции, России и США, проявление отравляющего действия компонентов дыма на здоровье населения может выражаться в виде кратковременного острого воздействия и в виде хронического воздействия (при затяжных пожарах). Кроме негативного действия на здоровье

людей, дым природных пожаров, характеризующийся масштабностью распространения, оказывает серьезное негативное влияние на безопасность перевозок автомобильным, железнодорожным и авиационным транспортом из-за снижения дальности видимости [5–7].

Модели для прогнозирования переноса и диффузии дыма от природных пожаров в качестве неотъемлемых составляющих включают четыре основных компонента:

1) описание источника выброса на основе материального и теплового баланса (оценка эмиссии загрязняющих веществ и тепловыделения);

2) начальный подъем дыма (зависит от типа и мощности пожара и состояния атмосферы);

3) физико-математическое моделирование пространственных характеристик распространения дыма (подъем по вертикали и распространение по горизонтали) в зависимости от скорости распространения пожара, тепловыделения, состояния атмосферы, метеорологических условий;

4) химические превращения компонентов дыма в атмосфере (имеют важное значение при фотохимических трансформациях озона, оксидов азота, пероксидных органических радикалов).

В Санкт-Петербургском университете ГПС МЧС России под руководством профессора В.Н. Ложкина проводились исследования по моделированию распространения продуктов горения от лесных пожаров с использованием модели Навье-Стокса [5] и от торфяного пожара с использованием К-модели [6–7], разработанной в Главной геофизической обсерватории им. А.И. Воейкова и основанной на уравнении турбулентной диффузии [8]. Проведенные исследования доказали эффективность разработанных моделей для прогнозирования чрезвычайных ситуаций от воздействия дыма природных пожаров.

В то же время для совершенствования отечественных методов моделирования таких сложных процессов очевидна необходимость анализа международного опыта.

Целью настоящей работы явилось изучение зарубежных подходов для моделирования распространения дыма природных пожаров.

### **Модель VSMOKE**

Модель VSMOKE, разработанная Департаментом по охране окружающей среды штата Флорида, США, предназначена для оценки приземного распространения дыма от единичного лесного пожара с оценкой концентраций взвешенных частиц и снижения дальности видимости на дороге [9–11]. Для оценки транспорта и диффузии взвешенных частиц используется Гауссов подход.

Модель VSMOKE включает шесть основных вычислительных компонентов:

1. Модель эмиссии загрязняющих веществ и тепловыделения, а также начального вертикального и горизонтального распределения дыма. Пользователь должен ввести сведения о предполагаемой площади пожара и предполагаемые количественные характеристики (массу) сожженной биомассы. На первом этапе оценивается количество потребляемого топлива, а на втором – удельные характеристики выброса взвешенных частиц с учетом коэффициента превращения биомассы в аэрозольные частицы дыма в процессе сгорания.

2. Модель подъема дыма. Пользователь указывает, какая часть выделяющегося дыма остается вблизи земной поверхности, а какая часть поднимается к верхней границе слоя смешения. Pharo с коллегами предложили использовать соотношение 40/60, также используется соотношение 25/75 %. Следует учитывать, что предположение о распространении дыма в атмосферном пространстве, ограниченном слоем смешения, допустимо только для небольших природных пожаров. Дым от больших лесных пожаров поднимается выше высоты смешения, иногда на несколько тысяч метров. Следовательно, большое количество тонкодисперсных частиц может транспортироваться над пограничным слоем и удаляться от чувствительных объектов на уровне земли.

3. Модель транспорта продуктов горения. В основе модели диффузии и переноса лежит Гауссово распределение, ключевые параметры которого определяются путем анализа большого количества эмпирического материала. VSMOKE является стационарной моделью, позволяющей оценивать концентрации компонентов дыма на разном расстоянии от пожара непосредственно по направлению ветра.

$$C(x, y, z) = \frac{Q}{2\pi\sigma_y\sigma_xU} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{y^2}{\sigma_y^2} + \frac{z^2}{\sigma_z^2}\right)\right],$$

где  $C(x, y, z)$  – концентрация продукта горения в некой точке с координатами  $(x, y, z)$ ;  $Q$  – мощность эмиссии продукта горения в единицу времени с единицы поверхности,  $\text{г/м}^2\text{с}$ ;  $\sigma_y, \sigma_x$  – отклонения концентраций компонента дыма по координатам  $y$  и  $z$ , зависят от расстояния  $x$  до источника и рельефа местности;  $U$  – скорость ветра,  $\text{м/с}$ .

Ось  $x$  ориентирована по направлению ветра, ось  $y$  – ей перпендикулярна на поверхности, а ось  $z$  – по вертикали.

Параметры  $\sigma_y$  и  $\sigma_x$  возрастают по мере удаления от источника выброса. Скорость их увеличения с расстоянием зависит от интенсивности турбулентности и стабильности атмосферы. На рис. 1а представлено схематическое, а на рис. 1б – реальное изображение «идеального» для описания с помощью приближения Гаусса профиля дыма от единичного наземного природного пожара.

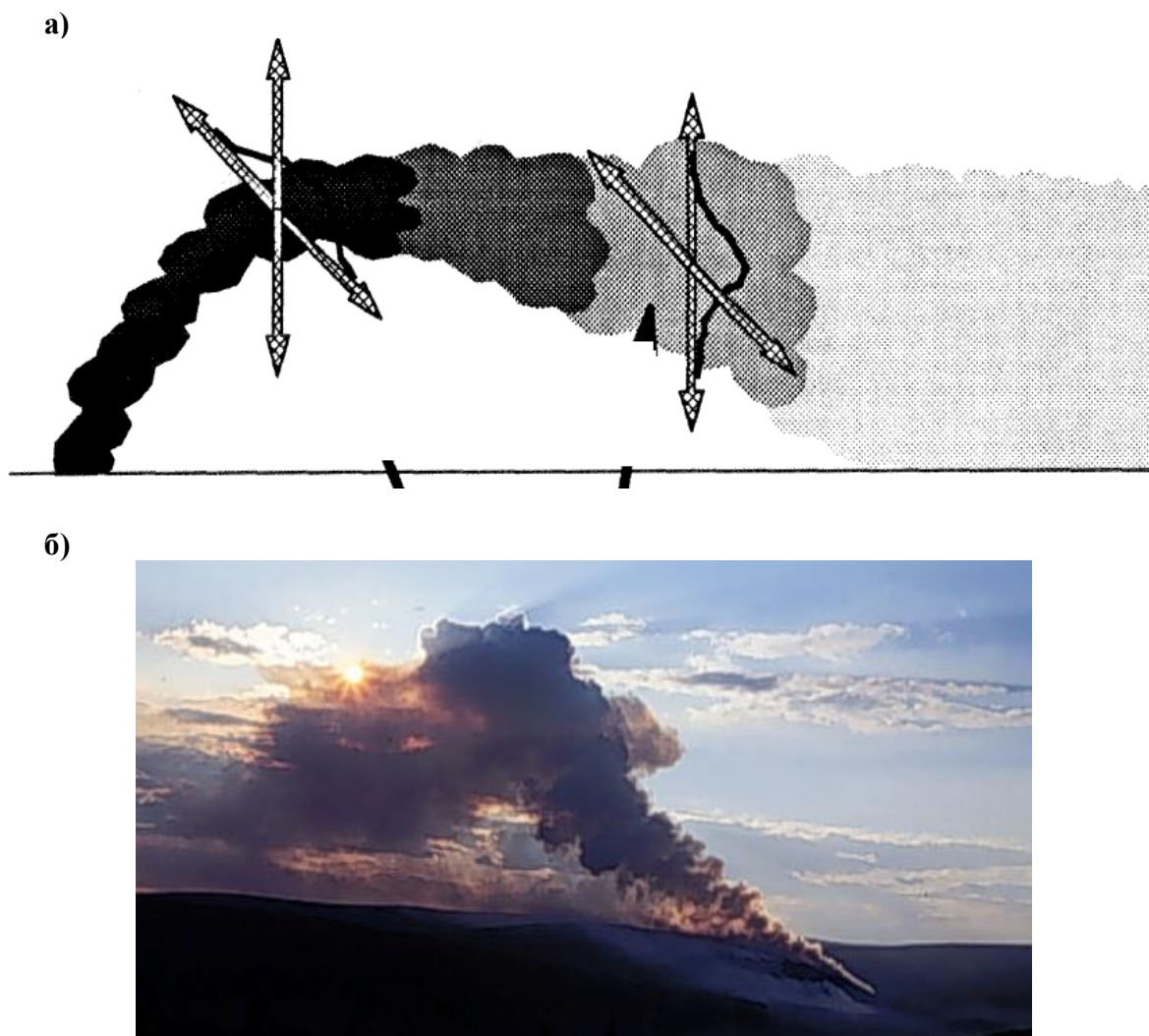


Рис. 1. Схематический (а) и реальный (б) «идеальный» для описания с помощью приближения Гаусса профиль дыма от единичного наземного природного пожара

У моделей Гауссова типа для моделирования распространения дыма имеются ряд важных преимуществ: они понятны для широкого круга пользователей (не требуют профессиональных знаний в области метеорологии); они хорошо изучены, их слабые стороны известны в метеорологическом сообществе, что позволяет корректировать получаемые расчетные результаты, их входные требования соответствуют уровню информации, доступной в реальном времени в удаленных лесных районах, они основаны на наборах данных, которые удовлетворяют задачам оперативного прогнозирования концентраций поллютантов на уровне земли вблизи источника выброса. Это последнее преимущество особенно важно, учитывая потенциальную опасность для дорожного движения.

Среди недостатков следует отметить следующие: модели Гауссова типа не учитывают изменения ветровых условий во время горения. Модель предполагает пространственную стационарность и поэтому не применима для описания распространения дыма на сложной местности. Модель не применима при скорости ветра менее 2 м/с.

4. Модель оценки контрастности объектов и видимости в зоне задымления (вдоль траектории перемещения дыма с подветренной стороны). Получаемые оценки справедливы только в том случае, если относительная влажность окружающей среды ниже 70 %.

Для расчета контрастности используется следующее уравнение:

$$CR_a = CR_i e^{-B_{ext} X_{sight}}, \quad (1)$$

где  $CR_a$  – видимая контрастность (то есть контрастность объекта по отношению к его фону (безразмерная);  $CR_i$  – истинная контрастность (то есть контрастность объекта по отношению к его фону без помех (безразмерная);  $B_{ext}$  – коэффициент светопоглощения атмосферы с учетом влияния любых загрязняющих веществ,  $m^{-1}$ ;  $X_{sight}$  – длина линии визирования, м.

Коэффициент светопоглощения атмосферы определяется по уравнению Tangren:

$$B_{ext} = 0,000015 + X_{PM}/300,$$

где  $X_{PM}$  – концентрация взвешенных частиц.

Расчеты видимости при построении линии визирования выполняются на основании преобразованного уравнения (1):

$$V = \ln \left( \frac{CR_i}{CR_a} \right) / B_{ext},$$

где  $V$  – видимость, м.

5. Модель скорости дисперсии в масштабе всей области прогнозирования, с помощью которой рассчитывается индекс дисперсии.

6. Статистическая модель оценки вероятности ДТП (основана на многолетней статистике дорожных аварий в условиях ограниченной видимости во Флориде).

### Модель SASEM

SASEM (*Simple Approach Smoke Estimation Model* – в переводе с англ. «Простая модель для оценки дыма») была разработана Департаментом по охране окружающей среды штата Аризона, США [9, 10, 12]. Эта модель позволяет определять расход биомассы, выброс и рассеивание мелкодисперсных взвешенных частиц, образующихся при небольших по масштабам лесных пожарах или плановых палов растительности. Как и модель VSMOKE, базируется на Гауссовом распределении, а, следовательно, является упрощенной, поскольку предполагает невозмущенное (стабильное) состояние атмосферы.

Модель предназначена для прогнозирования ухудшения качества воздушной среды и ухудшения видимости на автодорогах из-за смога природных пожаров. Многолетнее ее использование (модель была разработана в конце 80-х гг. прошлого века) дорожными и лесохозяйственными службами штата Аризона свидетельствуют о ее адекватности. Кроме

того, эта модель, как и модель VSMOKE, не требует введения сложно определяемых исходных параметров.

### Модель «CALPUFF»

CALPUFF – это усовершенствованная нестационарная комплексная метеорологическая модель прогнозирования качества воздуха, разработанная учеными компании Exponent Inc. штата Калифорния [9, 10, 13].

Система моделирования состоит из трех основных компонентов и набора программ для предварительной и постобработки данных. Основными компонентами системы моделирования являются CALMET (диагностическая трехмерная метеорологическая модель), CALPUFF (модель диффузии и переноса загрязнителей) и CALPOST (пакет постобработки).

CALPUFF позволяет:

- осуществлять прогнозирование полей концентраций загрязняющих веществ в сложных метеорологических и рельефных условиях (холмистый и горный рельеф, атмосферная инверсия, штиль, туман, перенос веществ над водной и прибрежными поверхностями), в том числе от нестационарных («ползучих») источников – природных пожаров;
- осуществлять прогнозирование транспорта веществ на большие расстояния;
- производить оценку видимости;
- осуществлять прогнозирование образования вторичных загрязнителей и твердых частиц.

CALPUFF – это нестационарная Лагранжево-Гауссова puff-модель. Puff в переводе с англ. означает «клуб» или «облако». В puff-моделях дым стилизуется в виде набора дискретных клубов (облаков) дыма – рис. 2. Расчет проводится для мгновенных концентраций в точке рецептора (стилизация экспериментального замера). Общая концентрация загрязнителя в точке рецептора (точке замера) представляет собой сумму вкладов всех соседних клубов дыма, усредненных для всех этапов расчета (модельного замера) в пределах основного временного шага.

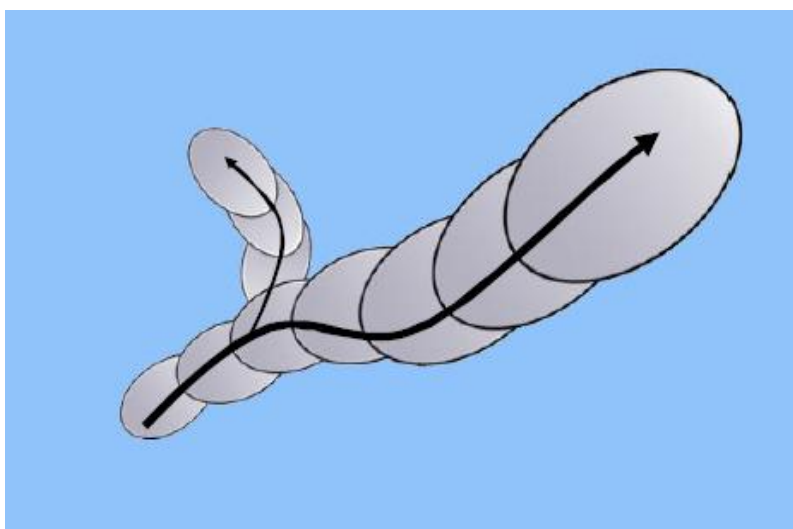


Рис. 2. Стилизация распространения примесей в атмосфере в puff-модели в виде дискретных клубов дыма

Основное уравнение для расчета концентрации поллютанта в дискретном облаке дыма в некой точке рецептора имеет вид:

$$C = \frac{Q}{2\theta\pi\sigma_x\sigma_y} g \exp[-d_a^2/(2\sigma_x^2)] \exp[-d_c^2/(2\sigma_y^2)];$$

$$g = \frac{2}{(2\pi)^{1/2}\sigma_z} \sum_{n=-\infty}^{\infty} \exp[-(H + 2nh)^2/(2\sigma_z^2)],$$



где  $C$  – концентрация загрязняющего вещества на уровне земли,  $\text{г}/\text{м}^3$ ;  $Q$  – масса загрязняющего вещества в клубе дыма, г;  $\sigma_x$  – стандартное отклонение Гауссова распределения в направлении ветра, м;  $\sigma_y$  – стандартное отклонение Гауссова распределения в направлении встречного ветра, м;  $\sigma_z$  – стандартное отклонение Гауссова распределения в вертикальном направлении, м;  $d_a$  – расстояние от центра клуба дыма до рецептора в направлении ветра, м;  $d_c$  – расстояние от центра клуба дыма до рецептора в направлении встречного ветра, м;  $g$  – вертикальная компонента уравнения Гаусса, м;  $H$  – эффективная высота над землей центра клуба дыма, м;  $h$  – высота слоя смешения, м.

Puff-модели, описывающие пространственно-временной перенос и распространение дискретных (отдельных) клубов дыма (по сути, воздушных потоков), являются более эффективными по сравнению с простыми Гауссовыми моделями, однако представляют определенные трудности по требованиям к входным параметрам и мощности вычислительных устройств.

### Литература

1. Reid CE, Considine EM, Watson GL, Telesca D, Pfister GG, Jerrett M. Associations between respiratory health and ozone and fine particulate matter during a wildfire event // *Environ. Int.* 2019. № 129. P. 291–298.
2. Kondo MC, De Roos AJ, White LS, Heilman WE, Mockrin MH, Gross-Davis CA, Burstyn I. Meta-Analysis of Heterogeneity in the Effects of Wildfire Smoke Exposure on Respiratory Health in North America // *Int. J. Environ. Res. Public Health.* 2019. 16 (6). pii: E960. doi: 10.3390/ijerph16060960.
3. Ерицов С.Н., Волков В.Д., Ломов А.М. Катастрофические лесные пожары // *Лесной Вестник.* 2016. № 5. С. 106–110.
4. Баранова Е.В. Последствия лесных пожаров в Иркутской области // *Экономика. Право. Менеджмент: сборник трудов молодых исследователей БГУ.* 2015. 1 (3). URL: <http://izdatelstvo.bgu.ru/epm/search.aspx> (дата обращения: 09.12.2019).
5. Сухоиванов А.Ю. Моделирование процессов переноса в атмосфере и воздействия на окружающую среду вредных продуктов горения, образующихся при пожаре: дис. ... канд. техн. наук. СПб.: СПбУ МВД России, 2001. 202 с.
6. Lozhkin V., Tarkhov D., Timofeev V., Lozhkina O., Vasilyev A. Differential neural network approach in information process for prediction of roadside air pollution by peat fire // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering.* 2016. V. 158. № 1. Available at: <http://ceur-ws.org/Vol-1761/paper49.pdf>.
7. Vasilyev A., Lozhkin V., Tarkhov D., Lozhkina O., Timofeev V. Physical and mathematical modeling of pollutant emissions when burning peat // *IOP Conf. Series: Journal of Physics: Conf. Series.* 2017. Available at: <http://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/919/1/012001/pdf>.
8. Genikhovich E.L., Gracheva I.G., Onikul R.I., Filatova E.N. Air pollution modeling at urban scale – Russian experience and problems. *Water, Air, Soil Pollut.: Focus.* 2002. 2 (5–6). P. 501–512.
9. Achtemeier L. Smoke Modeling in Support of Management of Forest Landscapes in the Eastern United States // *Proceedings of the 3rd Fire in Eastern Oak Forests Conference.* Available at: <https://www.nrs.fs.fed.us/pubs/gtr/gtr-p-46papers/06-achtemeier-p-46.pdf>.
10. Scott L., Achtemeier L., Narasimhan K., Yongqiang L., Tara M. Modelling smoke transport from wildland fires: a review / *International Journal of Wildland Fire.* 2013. № 22. P. 83–94.
11. Lavdas L.G. Program VSMOKE / Users' manual. USDA Forest Service, Southeastern Forest Experiment Station, General Technical Report SRS-6. 1996.
12. Sestak M.L., Riebau A.R. Simple approach smoke estimation model // *SASEM.* US Bureau of Land Management, Technical Note 382. 1988.
13. Scire J.S. CALPUFF: Overview of capabilities. In 'Technical Highlights of EPA's 7th Conference on Air Pollution Modeling'. 1 August 2000. North Carolina State University. Available at <http://www.epa.gov/scram001/7thconf/information/t029day1.pdf>.

---

---

# ПОЖАРНАЯ ТАКТИКА, ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПРОЦЕССОВ ГОРЕНИЯ И ТУШЕНИЯ

---

---

## СТОХАСТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ВОЗДУШНО-МЕХАНИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ПЕНООБРАЗОВАНИЯ

**А.А. Кузьмин, кандидат педагогических наук, доцент;  
Н.Н. Романов, кандидат технических наук, доцент;  
А.А. Пермяков, кандидат педагогических наук.  
Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России**

Установлено, что пена в числе других дисперсных систем является термодинамически неустойчивой, поскольку в процессе ее генерации происходит увеличение свободной энергии, которая инициирует процессы, ведущие к снижению дисперсности с последующим разрушением пены. Предложена стохастическая модель процесса пенообразования, которая позволит описать связи между параметрами в процессе пенообразования. Проанализирована связь между проявлениями эффекта Гиббса-Марангони со стойкостью пены. Представлены результаты серии виртуальных экспериментов, основанных на стохастической модели воздушно-механического процесса пенообразования, а также сравнение полученных данных с опытными данными.

*Ключевые слова:* пена, поверхностно-активные вещества, стохастическая модель, скорость разрушения пены, кратность пены

## STOCHASTIC MODEL OF AIR-MECHANICAL FOAMING PROCESS

A.A. Kuzmin; N.N. Romanov; A.A. Permyakov.  
Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia

We established that foam, among other dispersed systems, is thermodynamically unstable, because of the process of its generation with free energy increasing, which initiates processes leading to a decrease dispersion with subsequent foam destruction. We proposed stochastic model of the foaming process. The model will describe the relationships between the parameters in the foaming process. The relationship between the Gibbs-Marangoni effect manifestations and the foam resistance was analyzed. We presented results of series of virtual experiments based on a stochastic model of the air-mechanical process of foaming, as well as a comparison of the data with experimental data.

*Keywords:* foam, surfactants, stochastic model, foam destruction rate, foam multiplicity

Для решения многих тактических задач, связанных, прежде всего, с прекращением горения различных нефтепродуктов, используется пена, являющаяся дисперсной системой, состоящей из ячеек, наполненных воздухом, которые разделены водяными пленками, содержащими стабилизатор образовавшейся пены. Огнетушащие свойства пены заключаются в ее изолирующем действии, когда пена не позволяет поступать в зону горения

необходимого для этого воздуха, а также охлаждающем действии, если пена содержит достаточный объем воды.

Огнетушащие свойства пены зависят от ее физико-химических свойств, прежде всего, от устойчивости как способности пены противостоять разрушению в течение заданного времени, а также кратности как отношения полного объема пены к объему пенообразователя и вязкости как способности пены к распределению по защищаемой поверхности [1].

Наиболее распространенным методом генерации пены для целей пожаротушения является воздушно-механический, в ходе которого движущая струя раствора пенообразователя осуществляет эжектирование воздуха. При этом образующаяся в данном процессе пена в числе других дисперсных систем является термодинамически неустойчивой, поскольку в процессе ее генерации происходит увеличение свободной энергии, которая инициирует процессы, ведущие к снижению дисперсности с последующим разрушением пены. Термодинамическая неустойчивость пены затрудняет прогнозирование ее поведения в процессе пожаротушения [2]. В этом случае создание модели позволяет предсказывать параметры пены, характеризующие ее поведение в условиях пожара.

Воспользуемся стохастической моделью [3], которая позволит описать связи между параметрами в процессе пенообразования. В такой модели показателем эффективности процесса пожаротушения принимается среднее число пузырьков пены  $M_i(\tau)$ , то есть математическое ожидание на момент времени  $\tau$ , с условием, что на момент времени  $\tau=0$  их количество не превышало  $i$ . Тогда обозначим:  $\sigma_i(\tau)$  – среднее квадратичное отклонение числа пузырьков пены;  $\sigma_i^2(\tau)$  – его дисперсия, при этом  $\sigma_i(0)=0$ ;  $\tau, \tau_0 (0, \infty)$ ;  $i=0, 1, 2, \dots$ .

Проанализируем функционирование генератора пены, имеющего производительность  $\alpha$  за единицу времени, тогда число пузырьков пены на любой момент времени  $\tau$  является величиной случайной вследствие термодинамической неустойчивости процесса их образования. Скорость их разрушения  $\beta=1/\tau_m$  обратно пропорциональна средней продолжительности жизни пузырька  $\tau_m$ .

Общее число пузырьков  $V_k(\tau)$  в любой момент времени  $\tau$  является случайной величиной, которая подчиняется распределению Пуассона:

$$V_k(\tau) = \frac{(\alpha \cdot \tau)^k}{k!} \cdot e^{-\alpha \cdot \tau},$$

где  $k=0, 1, 2, \dots$ .

Тогда вероятность разрушения пузырька в момент времени  $\tau$  связана с ее продолжительностью  $\eta$  и будет описываться экспоненциальным законом:

$$P(\eta < \tau) = 1 - e^{-\beta \cdot \tau}.$$

В этих предположениях процессы образования жизни и разрушения пузырьков могут быть описаны системой дифференциальных уравнений, начальные условия которой предполагают, что  $M_i(0)=i, \sigma_i^2(0)=0$ :

$$\left. \begin{cases} \frac{d}{d\tau} M_i(\tau) + \beta \cdot M_i(\tau) = \alpha, \\ \frac{d}{d\tau} [\sigma_i^2(\tau) + M_i^2(\tau) - M_i(\tau)] + 2 \cdot \beta \cdot [\sigma_i^2(\tau) + M_i^2(\tau) - M_i(\tau)] = 2 \cdot \alpha \cdot M_i(\tau) \end{cases} \right\}. \quad (1)$$

Решение системы дифференциальных уравнений (1) имеет вид:

$$\left. \begin{cases} M_i(\tau) = \frac{\alpha}{\beta} + \left(i - \frac{\alpha}{\beta}\right) \cdot e^{-\beta \cdot \tau} \\ \sigma_i^2(\tau) = \left(1 - e^{-\beta \cdot \tau}\right) \cdot \left(\frac{\alpha}{\beta} + i \cdot e^{-\beta \cdot \tau}\right), i = 0, 1, 2, \dots \end{cases} \right\} \quad (2)$$

Использование уравнений системы (2) предполагает знание значений производительности генератора пены  $\alpha$  и скорости разрушения пены  $\beta$ , величина которых зависит от многочисленных факторов: как гидродинамических, к которым относятся геометрия генератора пены и режим его работы, так и физических свойств поверхностно-активного вещества (ПАВ). Следует также учесть, что процессы образования пены и ее разрушения начинаются одновременно и протекают параллельно, при этом процесс разрушения пузырьков начинается еще в генераторе в результате слияния отдельных пузырьков. Одним из решающих факторов, влияющих на устойчивость пены, является моодисперсность ее структуры, которая позволяет замедлить развитие диффузионных процессов [4].

Например, для генератора пены лабиринтного типа, который многими считается весьма перспективной конструкцией, процессы образования новых пузырьков и их разрушения непосредственно в генераторе описываются дифференциальными уравнениями (3) и (4) соответственно.

$$\frac{dN_1}{d\tau} = a \cdot z \cdot \frac{Re}{\zeta}; \quad (3)$$

$$\frac{dN_2}{d\tau} = b \cdot \frac{\tau}{\Delta P}, \quad (4)$$

где  $N_1$  – число образующихся пузырьков;  $N_2$  – число разрушающихся пузырьков;  $Re$  – число Рейнольдса потока ПАВ;  $\zeta$  – коэффициент поверхностного натяжения смеси воды и ПАВ;  $\tau$  – продолжительность процесса пенообразования;  $z$  – число заходов винтовой нарезки ротора и втулки;  $a$  и  $b$  – численные коэффициенты, зависящие от параметров конструкции генератора пены;  $\Delta P$  – потери напора в пеногенераторе.

В результате интегрирования дифференциальных уравнений (3) и (4) получаются расчетные уравнения, которые позволяют вычислить число образующихся новых пузырьков (5) и число разрушающихся непосредственно в генераторе (6).

$$N_1 = a \cdot \frac{Re}{\zeta} \cdot \tau \cdot z; \quad (5)$$

$$N_2 = \frac{b}{2} \cdot \frac{\tau^2}{\Delta P}. \quad (6)$$

Тогда на выходе из генератора пены число пузырьков определяется при помощи выражения:

$$N = N_1 - N_2 = a \cdot \frac{Re}{\zeta} \cdot \tau \cdot z - \frac{b}{2} \cdot \frac{\tau^2}{\Delta P} = \tau \cdot \left[ \frac{a \cdot z \cdot Re}{\zeta} - \frac{b \cdot \tau}{2 \cdot \Delta P} \right].$$

Однако для оценки производительности такого генератора пены необходимо знать радиус образовавшихся воздушных пузырьков, который определяется при помощи уравнения:

$$r = \sqrt{\frac{3 \cdot Q \cdot (k-1)}{4 \cdot \pi \cdot \tau \left( \frac{a \cdot z \cdot \text{Re}}{\zeta} - \frac{b \cdot \tau}{2 \cdot \Delta P} \right)}}$$

где  $Q$  – объемный расход подаваемой воды.

При выходе пены из генератора причины процесса разрушения пены не ограничиваются механическим воздействием, появляются и другие факторы. В соответствии с теорией Ребиндера формирование высокоустойчивых систем возможно при уходе от поверхностного структурообразования. Дерягин Б.В. и С.С. Воюцкий предполагают, что сближению коллоидных частиц, составляющих поверхность пузырьков, может препятствовать появление электрического слоя. Стабильность пузырьков пены зависит от эластичности и реологических свойств – эффект Гиббса-Марангони, когда способность изменения поверхностного натяжения в зависимости от действующих сил позволяет избежать разрушения пузырька. В этом случае процесс увеличения площади поверхности пузырька пены приводит к увеличению свободной энергии.

$$\Delta F = \zeta \cdot \Delta S + (S + \Delta S) \cdot \Delta \zeta. \quad (7)$$

В уравнении (7) слагаемое  $\zeta \cdot \Delta S$  характеризует рост свободной энергии на наружной поверхности пузырька пены, а слагаемое  $(S + \Delta S) \cdot \Delta \zeta$  соответствует росту потенциальной энергии сил поверхностного натяжения.

Как известно, Гиббсом установлена взаимная связь между значением последнего слагаемого уравнения (7) и уровнем поверхностной эластичности двухкомпонентной пленки на поверхности жидкости. Отсюда модуль поверхностной эластичности  $E$  является объективной характеристикой устойчивости пены:

$$E = 2 \cdot S \cdot \left( \frac{d\zeta}{dS} \right).$$

Адсорбционная теория Гиббса предполагает, что значение поверхностного натяжения  $\zeta$  связано показателями, характеризующими процесс адсорбции  $\Gamma_i$  ПАВ и воды, а также изменение их химических потенциалов  $\mu_i$ :

$$d\zeta = \sum_{i=1}^n \Gamma_i \cdot d\mu_i,$$

где  $\Gamma_i$  – разность концентраций ПАВ на наружной и внутренней поверхностях пузырька пены.

Возникающий градиент сил поверхностного натяжения вызывает диффузию молекул ПАВ из зоны на поверхности пузырька с меньшим значением поверхностного натяжения  $\zeta$  в зону с большей величиной. Одновременно по толщине пузырька пены молекулы ПАВ концентрируются на участках с увеличенным значением поверхностного натяжения, тем самым происходит «ремонт» потенциально предрасположенных к разрушению пленочных зон.

Процесс самопроизвольного разрушения пены начинается сразу после ее образования и сопровождается уменьшением площади поверхности раздела. Такой процесс обусловлен

диффузией воздуха между мелкими и крупными пузырьками, в ходе которой пленка между пузырьками разрушается, а число мелких пузырьков уменьшается.

Разница в давлении воздуха  $\Delta P$  внутри пузырьков большего  $r_1$  и меньшего радиуса  $r_2$  можно определить, как:

$$\Delta P = \sqrt{2 \cdot \zeta \cdot \left( \frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right)}.$$

Процесс диффузионного разрушения пены можно описать уравнением:

$$n_\tau = \frac{n_o}{(1 - K_\tau)^2},$$

где  $n_\tau$  – количество пузырьков на момент времени  $\tau$ , занимающих единицу площади;  $n_o$  – количество пузырьков на начальный момент времени, занимающих единицу площади;  $K$  – коэффициент, связанный с функцией распределения пузырьков  $\alpha$  по размеру.

$$K = \frac{4 \cdot R \cdot T \cdot D \cdot S \cdot \zeta \cdot \alpha}{P \cdot \delta},$$

где  $R$  – универсальная газовая постоянная;  $T$  – абсолютная температура;  $D$  – постоянная диффузии;  $P$  – атмосферное давление;  $\delta$  – толщина пленки.

Исходя из вышеизложенного, представляется, что из процесса разрушения пены можно выделить несколько стадий:

- начальная стадия, в ходе которой наблюдаются незначительные разрушения пены с последующим нарастанием скорости этих разрушений;
- активная стадия, в ходе которой скорость разрушения пены достигает своих наибольших значений;
- стадия затухания, при которой наблюдается постепенное уменьшение скорости разрушения пены.

Так как устойчивость пены определяется скоростью ее разрушения, то в качестве основной характеристики этого процесса в работе [5] предлагается принять параметр  $\beta = \beta(\tau)$ , который является функцией времени:

$$\beta(\tau) = B + \frac{A}{\zeta \cdot \sqrt{2 \cdot \pi}} \cdot \exp\left(-\frac{(\tau - a)^2}{2 \cdot \zeta^2}\right), \quad (8)$$

где  $A$  и  $B$  – параметры процесса, зависящие от концентрации ПАВ и физических условий окружающей среды.

Для оценки адекватности представленной стохастической модели была проведена серия виртуальных экспериментов, а также сравнение полученных данных с опытными данными, представленными в работе [5]. Исследовалась стойкость пены в зависимости от ее кратности и концентрации ПАВ для некоторых наиболее распространенных составов ПАВ. Виртуальные эксперименты проводились с использованием высокоуровневой программной среды LabView, которая позволила создать комплексное приложение, решающее задачу автоматизации численного эксперимента по синтезу пены на основе сформулированной модели с последующей наглядной демонстрацией полученных результатов. Главное окно разработанной программы моделирования генерирования пены отображено на рис. 1.

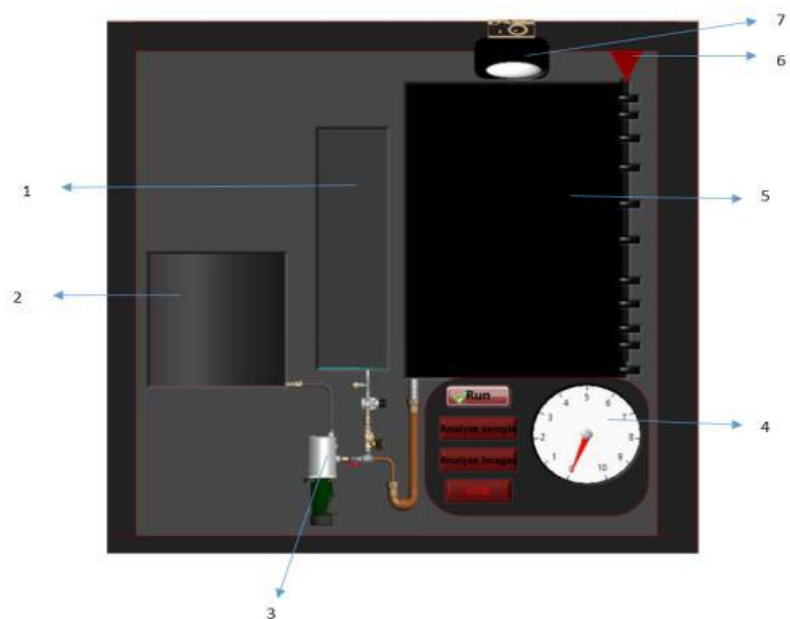


Рис. 1. Главное окно виртуальной лабораторной установки генерирования пены:  
 1 – баллон с воздухом; 2 – контейнер с ПВА; 3 – генератор пены;  
 4 – индикатор времени; 5 – контейнер с пеной; 6 – указатель уровня пены;  
 7 – устройство вывода изображения пены

Изменение уровня пены позволяет вычислить стойкость образующейся пены, которая определялась как время, за которое высота столба пена уменьшается в два раза, а использование инструмента Vision Assistant, входящего в качестве компонента программной среды LabView, дает возможность вычислить значение кратности пены.

Окна поэтапной работы разработанной программы отображены на рис. 2.

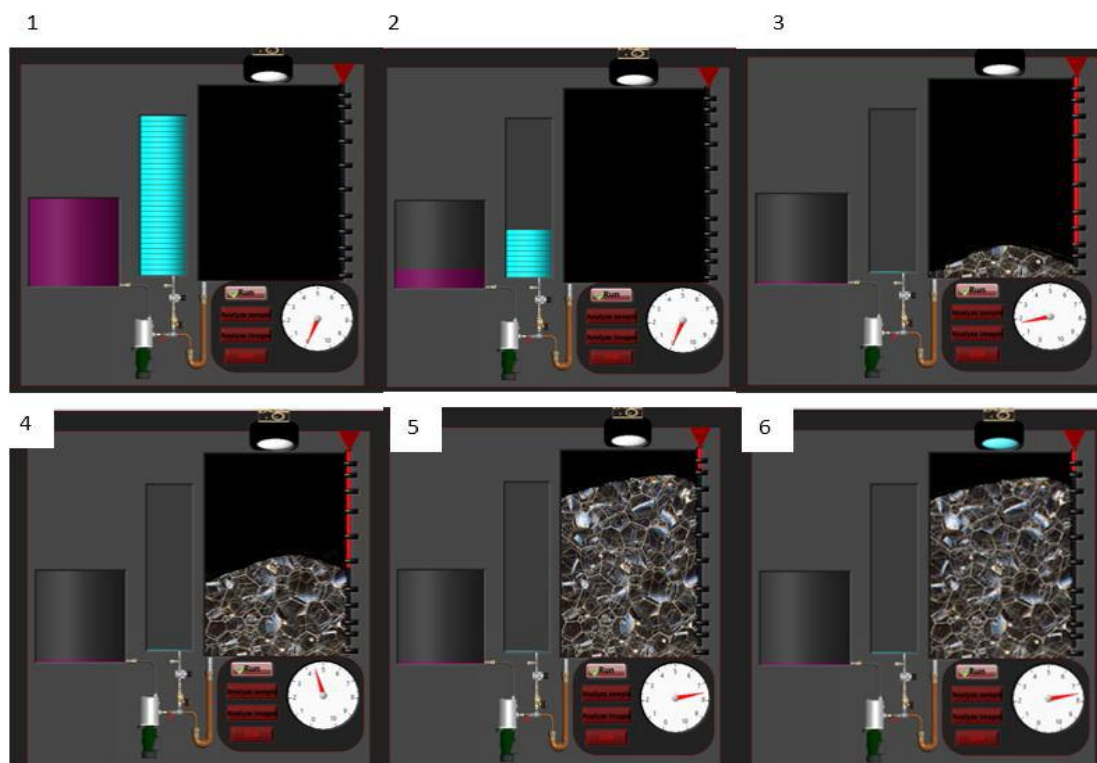


Рис. 2. Окна поэтапной работы виртуальной лабораторной установки генерирования пены

В качестве пенообразователя был применен «Морпен», обычно используемый в ходе пожаротушения на объектах морского и речного флотов, твердой (класс А) и жидкой (класс Б) пожарной нагрузки пеной различной кратности на основе заборной воды. Экспериментальные значения постоянных  $A=7,5$ ;  $B=0,21$  для уравнения (8) приведены в работе [5].

Результаты численного эксперимента по синтезу пены на основе сформулированной модели и данные натурального эксперимента, представленные в работе [1], отображены в таблице.

Таблица. Результаты численного эксперимента по синтезу пены и данные натурального эксперимента

| Пенообразователь | Массовая концентрация $Al_2(SO_4)_3$ , % | Численный эксперимент |              | Натурный эксперимент |              |
|------------------|--|-----------------------|--------------|----------------------|--------------|
|                  |  | кратность             | $\tau$ , мин | кратность            | $\tau$ , мин |
| Морпен 6 %       | 6,1                                      | 2,9                   | 8,9          | 2,8                  | 10,2         |
|                  | 9  | 4,3                   | 19           | 4,1                  | 16           |
|                  | 15                                       | 6,4                   | 15           | 5,9                  | 22           |
|                  | 26                                       | 7,3                   | 4            | 7,5                  | 5            |

Сравнение результатов численного и натурального эксперимента позволяет сделать вывод, что использование стохастической модели процесса воздушно-механического пенообразования для пенообразователя «Морпен 6 %» дает вполне удовлетворительные результаты в части оценки кратности пены, однако полученная погрешность результатов по прогнозированию стойкости пены для рабочих концентраций ПАВ 9÷15 % предполагает необходимость дальнейшей работы над предлагаемой моделью.

#### Литература

1. Киреев А.А., Коленов А.Н. Исследование пенообразования в пенообразующих системах // Проблемы пожарной безопасности. 2009. Вып. 25. С. 59–64.
2. Айвазов Б.В. Практикум по химии поверхностных явлений и адсорбции. М.: Высш. шк., 1973. 208 с.
3. Тихомиров В.К. Пены. Теория и практика их получения и разрушения. М.: Химия, 1975. 264 с.
4. Канн К.Б. Капиллярная гидродинамика пен. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-е, 1989. 167 с.
5. Foegeding E.A., Luck P.J., Davis J.P. Factors determining the physical properties of protein foams // Food Hydrocolloids. 2006. V. 20. P. 284–292.

## ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ПАРАМЕТРОВ ТУШЕНИЯ ГОРЮЧИХ ЖИДКОСТЕЙ ТОНКОРАСПЫЛЕННОЙ ВОДОЙ

**А.Ю. Андрюшкин, кандидат технических наук, доцент.**

**Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова.**

**Е.О. Афанасьев;**

**Е.Н. Кадочникова, кандидат технических наук, доцент.**

**Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России**

Проведена оценка среднего диаметра капель, времени их нагрева и испарения при тушении горючих жидкостей тонкораспыленной водой. Обоснована эффективность тушения горючих жидкостей тонкораспыленной водой на начальной стадии пожара.

*Ключевые слова:* распыление, тонкораспыленная вода, пожаротушение



# THEORETICAL ESTIMATION OF PARAMETERS OF EXTINGUISHING COMBUSTIBLE LIQUIDS WITH FINE WATER

A.Yu. Andryushkin. Baltic state technical university «VOENMEH» of D.F. Ustinov.  
E.O. Afanasiev; E.N. Kadochnikova.  
Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia

The estimation of average diameter of drops, time of their heating and evaporation at suppression of combustible liquids by thinly sprayed water is carried out. The efficiency of extinguishing flammable liquids with thinly sprayed water at the initial stage of the fire is substantiated.

*Keywords:* spraying, thinly sprayed water, fire fighting

Для пожаров горючих жидкостей (ГЖ) на начальной стадии в замкнутых пространствах, когда площадь горения незначительна, наиболее эффективно тушение тонкораспыленной водой (ТРВ). При использовании ТРВ тушение пламени ГЖ обусловлено не охлаждающим воздействием воды на поверхность ГЖ, а испарением большого количества капель воды в факеле пламени.

При применении ТРВ весь объем замкнутого пространства заполняется водяным паром, образующимся при испарении капель. Для интенсивного парообразования, обусловленного значительной площадью теплообмена между каплями и горячим газом, размеры капель воды должны быть  $d_k < 80$  мкм.

Для повышения эффективности систем пожаротушения ТРВ необходима теоретическая оценка основных параметров тушения ГЖ: интенсивность подачи воды  $J_v$  (кг/(м<sup>2</sup>·с)), время тушения  $\tau$  (с), средний диаметр капель  $d_k$  (м) [1–7].

Проведем оценку среднего диаметра капель при тушении ГЖ ТРВ. До начала тушения при стационарном режиме горения удельная скорость выгорания ГЖ определяется потоком тепла от факела пламени к ее поверхности [5]:

$$U_{\text{ГЖ}0} = \frac{\alpha \cdot (T_{\text{ф}0} - T_{\text{п}})}{Q_{\text{ГЖ}}}, \quad (1)$$

где  $U_{\text{ГЖ}0}$  – удельная скорость выгорания ГЖ при стационарном режиме горения, кг/(м<sup>2</sup>·с);  $T_{\text{ф}0}$ ,  $T_{\text{п}}$  – температура факела пламени и поверхности ГЖ до начала тушения, К;  $\alpha$  – коэффициент теплоотдачи (для углеводородов  $\alpha=24$ ), Дж/(с·м<sup>2</sup>·К);  $Q_{\text{ГЖ}}$  – удельная теплота испарения ГЖ, Дж/кг.

Удельная скорость испарения с поверхности ГЖ, близкой к кипению, определяется формулой Стефана [5]:

$$U_{\text{ГЖ}0} = \frac{D_0}{R \cdot T_0} \cdot \left( \frac{T_{\text{ф}0}}{T_0} \right)^m \cdot \frac{P_a}{\delta} \cdot \ln \left( \frac{P_a - P_{\delta}}{P_a - P_{\text{п}}} \right), \quad (2)$$

где  $U_{\text{ГЖ}0}$  – удельная скорость испарения ГЖ при стационарном режиме горения, кг/(м<sup>2</sup>·с);  $D_0$  – коэффициент диффузии молекул ГЖ в газовой фазе при нормальной температуре  $T_0$ , м<sup>2</sup>/с;  $R$  – удельная газовая постоянная, Дж/(кг·К);  $P_a$  – атмосферное давление, Па;  $\delta$  – толщина диффузионного слоя, м;  $P_{\delta}$  – давление пара ГЖ в окружающей среде на расстоянии  $\delta$  от поверхности, Па;  $T_0$  – нормальная температура окружающей среды ( $T_0=293$  К), К;  $P_{\text{п}}$  – давление насыщенного пара при температуре поверхности ГЖ  $T_{\text{п}}$ , Па;  $m$  – показатель степени (для углеводородов  $m=2$ ).

При стационарном режиме горения скорость выгорания и скорость испарения ГЖ можно считать равными. Из выражения (1) видно, что удельная скорость выгорания  $U_{\text{ГЖ}0}$

будет тем больше, чем выше температура факела пламени  $T_{\phi 0}$  и чем ниже температура поверхности ГЖ  $T_{\Pi}$ . Из выражения (2) следует, что удельная скорость испарения  $U_{\Gamma Ж 0}$  растет с увеличением давления насыщенного пара ГЖ  $P_{\Pi}$  и с увеличением температуры факела пламени  $T_{\phi 0}$ .

Взаимосвязь между давлением насыщенного пара  $P_{\Pi}$  и температурой поверхности ГЖ  $T_{\Pi}$  можно рассчитать из уравнения Клаузиуса-Клапейрона [5]:

$$\ln\left(\frac{P_{\Pi}}{P_a}\right) = -\left(\frac{Q_{\Gamma Ж}}{R}\right) \cdot \left(\frac{1}{T_{\Pi}} - \frac{1}{T_0}\right).$$

Запишем уравнение теплового баланса процесса тушения воздействием ТРВ на факел пламени [6]:

$$\rho_{\Pi Г} \cdot c_{\Pi Г} \cdot V_{\phi} \cdot dT_{\phi} = (k_{\text{изл}} \cdot U_{\Gamma Ж} \cdot S_{\Pi} \cdot Q_{\text{сг}} - Q_{\text{в}} \cdot q_{\text{в}}) dt, \quad (3)$$

где  $\rho_{\Pi Г}$  – плотность продуктов горения в факеле пламени, кг/м<sup>3</sup>;  $V_{\phi}$  – объем факела пламени, высота которого принимается равной светящейся части пламени, м<sup>3</sup>;  $q_{\text{в}}$  – массовый расход воды, кг/с;  $Q_{\text{сг}}$  – удельная теплота сгорания ГЖ, Дж/кг;  $Q_{\text{в}}$  – удельная теплота испарения воды, Дж/кг;  $c_{\Pi Г}$  – удельная теплоемкость продуктов горения в факеле пламени, Дж/(кг·К);  $\tau$  – время тушения, с;  $k_{\text{изл}}$  – коэффициент, учитывающий потери тепла излучением ( $k_{\text{изл}} \approx 0,6$ );  $S_{\Pi}$  – площадь поверхности горения ГЖ, м<sup>2</sup>;  $U_{\Gamma Ж}$  – удельная скорость испарения ГЖ, кг/(м<sup>2</sup>·с);  $T_{\phi}$  – температура факела пламени, К.

Поделим уравнение (3) на площадь поверхности горения  $S_{\Pi}$ :

$$\rho_{\Pi Г} \cdot c_{\Pi Г} \cdot h_{\phi} \cdot dT_{\phi} = (k_{\text{изл}} \cdot U_{\Gamma Ж} \cdot Q_{\text{сг}} - Q_{\text{в}} \cdot J_{\text{в}}) dt, \quad (4)$$

где  $h_{\phi}$  – высота факела пламени, м;  $J_{\text{в}}$  – интенсивность подачи ТРВ, кг/(м<sup>2</sup>·с).

Из выражения (4) видно, что интенсивность подачи ТРВ  $J_{\text{в}}$  должна быть достаточной для поглощения тепла, выделяющегося при пожаре. С увеличением интенсивности подачи ТРВ  $J_{\text{в}}$  время тушения будет сокращаться  $\tau \rightarrow \tau_{\text{min}}$  (рис.). Минимальное время тушения  $\tau_{\text{min}}$  определяется тепловой инерционностью зоны химической реакции горения, при этом интенсивность подачи ТРВ  $J_{\text{в}} \rightarrow \infty$ .

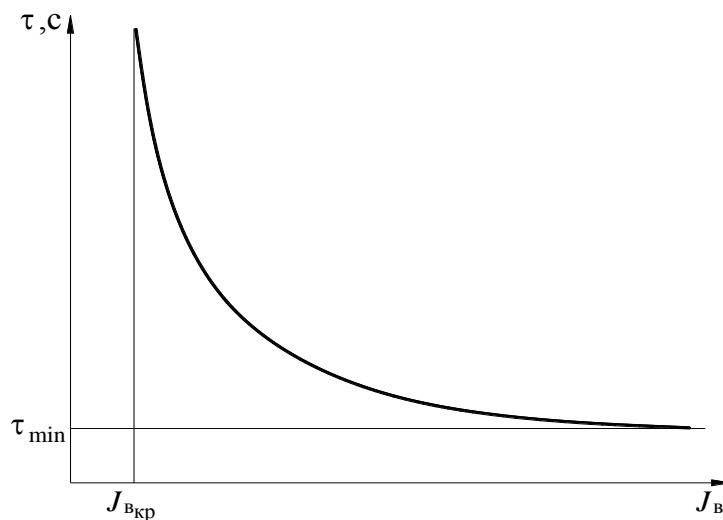


Рис. Зависимость времени тушения  $\tau$  от интенсивности подачи ТРВ  $J_{\text{в}}$

При тушении пожара интенсивность подачи ТРВ  $J_B$  должна быть равна или превышать критическое значение, то есть  $J_B \geq J_{\text{вкр}}$ . Критическая интенсивность подачи ТРВ – это минимальная интенсивность подачи воды, при которой еще возможно тушение пламени. При  $J_B = J_{\text{вкр}}$  время тушения стремится к бесконечности  $\tau \rightarrow \infty$ . При  $J_B < J_{\text{вкр}}$  интенсивность подачи ТРВ недостаточна для снижения температуры горения до температуры потухания при тушении факела пламени ГЖ.

Для определения минимального времени тушения ГЖ  $\tau_{\text{min}}$  может быть применено выражение [6]:

$$\tau_{\text{min}} = \frac{\rho_{\text{пг}} \cdot c_{\text{пг}} \cdot h_{\text{ф}} \cdot Q_{\text{ГЖ}}}{k_{\text{изл}} \cdot \alpha \cdot Q_{\text{сг}}}, \quad (5)$$

где  $\tau_{\text{min}}$  – минимальное время тушения пламени, с.

Критическая интенсивность подачи ТРВ  $J_{\text{вкр}}$  определяется по выражению [6]:

$$J_{\text{вкр}} = \frac{k_{\text{изл}} \cdot U_{\text{ГЖ0}} \cdot Q_{\text{сг}}}{Q_B}. \quad (6)$$

Для определения времени тушения ГЖ может быть применено выражение [6]:

$$\tau = \tau_{\text{min}} \cdot \ln \left( \frac{J_B}{J_B - J_{\text{вкр}}} \right).$$

На величину критической интенсивности подачи ТРВ  $J_{\text{вкр}}$  наибольшее влияние оказывает средний диаметр капель воды  $d_k$  и удельная скорость выгорания ГЖ  $U_{\text{ГЖ}}$ .

С уменьшением диаметра капель растет интенсивность теплообмена с продуктами горения и увеличивается теплоотвод из факела пламени. Теплоотвод из факела пламени обусловлен суммарной поверхностью капель ТРВ  $F_{\Sigma k}$ . Поэтому для определения критической интенсивности подачи ТРВ  $J_{\text{вкр}}$  воспользуемся выражением [6]:

$$J_B = \frac{\alpha \cdot F_{\Sigma k} \cdot (T_{\text{ф}} - T_{\text{кип}})}{S_{\text{п}} \cdot Q_B}, \quad (7)$$

где  $F_{\Sigma k}$  – суммарная площадь поверхностей капель ТРВ, участвующих в отводе тепла из факела пламени, м<sup>2</sup>;  $T_{\text{кип}}$  – температура кипения воды, К.

С учетом выражений (6) и (7) найдем минимальную суммарную площадь поверхностей капель ТРВ, при условии, что  $J_B = J_{\text{вкр}}$ :

$$J_{\text{вкр}} = \frac{k_{\text{изл}} \cdot U_{\text{ГЖ0}} \cdot Q_{\text{сг}}}{Q_B} = \frac{\alpha \cdot F_{\Sigma k \text{ min}} \cdot (T_{\text{ф0}} - T_{\text{кип}})}{S_{\text{п}} \cdot Q_B},$$

откуда

$$F_{\Sigma k \text{ min}} = \frac{k_{\text{изл}} \cdot U_{\text{ГЖ0}} \cdot Q_{\text{сг}} \cdot S_{\text{п}}}{\alpha \cdot (T_{\text{ф0}} - T_{\text{кип}})}, \quad (8)$$

где  $F_{\Sigma k \text{ min}}$  – минимальная суммарная площадь поверхностей капель ТРВ, участвующих в отводе тепла из факела пламени при условии  $J_B = J_{\text{вкр}}$ , м<sup>2</sup>.

Для уменьшения времени тушения пожара интенсивность подачи ТРВ в факел пламени ГЖ должна превышать критическое значение, то есть  $J_B > J_{вкр}$ .

Во время тушения происходит изменение удельной скорости выгорания (испарения) ГЖ  $U_{ГЖ}$ , что обусловлено снижением температуры факела пламени ГЖ  $T_{\phi}$ . При  $J_B \gg J_{вкр}$  за короткое время тушения факела пламени с помощью ТРВ  $\tau \rightarrow \tau_{min}$  температура поверхности ГЖ существенно не изменится  $T_{\phi} \approx const$ . Исходя из этого допущения, из формулы Стефана (2) до начала тушения ГЖ с помощью ТРВ и во время тушения можно получить соотношение для определения  $U_{ГЖ}$  и  $T_{\phi}$ :

$$\frac{U_{ГЖ}}{T_{\phi}^2} = \frac{U_{ГЖ0}}{T_{\phi0}^2} \quad (9)$$

С учетом выражения (9) по выражению (8) найдем суммарную площадь поверхностей капель ТРВ, при условии, что  $J_B > J_{вкр}$ :

$$F_{\Sigma к} = \frac{k_{изл} \cdot U_{ГЖ} \cdot Q_{сг} \cdot S_{\Pi}}{\alpha \cdot (T_{\phi} - T_{кип})}$$

Суммарная площадь поверхностей капель ТРВ  $F_{\Sigma к}$ , участвующих в отводе тепла из факела пламени ГЖ, обусловлена средним диаметром капель ТРВ  $d_k$  (табл. 1) [7].

Таблица 1. Количество и площадь поверхностей капель ТРВ  $F_{\Sigma к}$  в зависимости от их диаметра  $d_k$

| Диаметр капель ТРВ $d_k$ , мм | Количество капель воды, шт. | Площадь поверхности капель воды $F_{\Sigma к}$ , м <sup>2</sup> |
|-------------------------------|-----------------------------|---|
| 120                           | 1                           | 0,05  |
| 6                             | 8 846                       | 1   |
| 0,1                           | 1 910 828 025               | 60  |
| 0,05                          | 15 286 624 204              | 120   |
| 0,025                         | 122 292 993 631             | 240   |
| 0,01 (10 мкм)                 | 1 910 828 025 478           | 600   |

Системы пожаротушения ТРВ позволяют максимально эффективно использовать все преимущества воды, основным из которых является развитая удельная наружная поверхность капель. Размеры капель ТРВ в 5 ... 20 раз меньше, чем для традиционных систем. Очевидно, от применения ТРВ следует ожидать высокой эффективности пожаротушения (табл. 2) [7].

Таблица 2. Сравнение системы пожаротушения ТРВ и традиционных систем водяного пожаротушения

| № п/п | Сравнительная характеристика                                       | Количественный показатель                   |                           |
|-------|--|---|---------------------------|
|       |  | традиционная система водяного пожаротушения | система пожаротушения ТРВ |
| 1     | Диаметры применяемых трубопроводов, мм                             | 16–159                                      | 16–59                     |
| 2     | Расчетная площадь тушения, м <sup>2</sup>                          | 120   | 90                        |
| 3     | Максимальное количество одновременно работающих оросителей, шт     | 10  | 10                        |
| 4     | Расход воды из одного оросителя, л/мин                             | 57  | 16                        |
| 5     | Нормативное время истечения воды из оросителя, мин                 | 30  | 6                         |
| 6     | Объем воды, подаваемой из одного оросителя за нормативное время, л | 1 710                                       | 96                        |

Оценим минимальное время тушения пламени ГЖ  $\tau_{min}$ , критическую интенсивность подачи ТРВ  $J_{вкр}$ , минимальную суммарную площадь поверхностей капель ТРВ и средний диаметр капель ТРВ при следующих исходных данных:

- плотность продуктов горения в факеле пламени  $\rho_{nc}=1,3 \text{ кг/м}^3$ ;
- удельная теплоемкость продуктов горения в факеле пламени  $c_{nc}=2 \text{ 000 Дж/(кг}\cdot\text{К)}$ ;
- удельная теплота сгорания ГЖ  $Q_{сг}=40 \text{ МДж/кг}$ ;
- удельная теплота нагревания и испарения ГЖ  $Q_{сж}=230 \text{ кДж/кг}$ ;
- коэффициент теплоотдачи  $\alpha=24 \text{ Дж/(с}\cdot\text{м}^2\cdot\text{К)}$ ;
- удельная теплота испарения воды  $Q_{\text{исп}}=2 \text{ 260 кДж/кг}$ ;
- температура кипения воды  $T_{\text{кип}}=373 \text{ К}$ ;
- температура горячего газа в факеле пламени  $T_{\text{фг}}=1 \text{ 400К}$ ;
- температура поверхности ГЖ  $T_n=500 \text{ К}$ ;
- высота факела пламени  $h_{\text{ф}}=2 \text{ м}$ ;
- площадь поверхности горения ГЖ  $S_n=1,3 \text{ м}^2$ .

По выражению (5)  $\tau_{min}=8,3 \text{ с}$ ; по выражению (6)  $J_{вкр}=1 \text{ кг/(м}^2\cdot\text{с)}$ , по выражению (8)  $F_{\Sigma kmin}=119 \text{ м}^2$ , следовательно, средний диаметр капель ТРВ составляет  $d_k=50\cdot 10^{-6}\text{ м}$  (табл. 2).

Таким образом, ТРВ (размер капель менее 100 мкм) обладает высокой эффективностью при тушении пожаров ГЖ в замкнутых пространствах на начальной стадии пожара. Оценка параметров тушения ГЖ с помощью ТРВ обеспечивает минимальное время тушения пламени при рациональной интенсивности подачи ТРВ.

#### **Литература**

1. Цариченко С.Г. Некоторые вопросы пожаротушения тонкораспыленной водой // Средства спасения. Противопожарная защита. 2004. № 10. С. 203–205.
2. Душкин А.Л., Янышев С.С., Карпышев А.В. Мобильные и стационарные системы пожаротушения тонкораспыленной водой // Крупные пожары: предупреждение и тушение: материалы XVI Науч.-практ. конф. М.: ВНИИПО, 2001. Ч. 2. С. 30–33.
3. Душкин А.Л., Ловчинский С.Е. Взаимодействие пламени горючей жидкости с тонкораспыленной водой // Пожаровзрывобезопасность. 2011. № 7. С. 53–55.
4. Особенности пожаротушения в замкнутом объеме тонкораспыленной водой / А.Л. Душкин [и др.] // Пожаровзрывобезопасность. 2017. Т. 26. № 3. С. 60–69.
5. Думилин А.И. Параметры тушения пламени горючих жидкостей распыленной водой // Пожаровзрывобезопасность. 2013. Т. 23. № 4. С. 85–90.
6. Шароварников А.Ф., Молчанов В.П., Воевода С.С. Тушение пожаров нефти и нефтепродуктов. М.: Изд. дом «Калан», 2002. 448 с.
7. Андрюшкин А.Ю., Пелех М.Т. Эффективность пожаротушения тонкораспыленной водой // Проблемы управления рисками в техносфере. 2012. № 3 (23). С. 37–45.

## **МЕТОДИКА ВЫБОРА ОПТИМАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ МОБИЛЬНОГО СРЕДСТВА ЗАЩИТЫ ЛЮДЕЙ ОТ ТЕПЛОВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ЛЕСНОГО ПОЖАРА**

**А.В. Гутовский;**

**С.М. Ляшенко, кандидат военных наук, доцент.**

**Академия гражданской защиты МЧС России.**

**С.А. Турсенев, кандидат технических наук, доцент.**

**Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России**

Рассмотрена методика, позволяющая выбрать оптимальные конструктивные параметры мобильного средства защиты людей от теплового воздействия лесного пожара.

*Ключевые слова:* температура, конструкция, средство защиты, теплообмен, эксперимент, математическая модель

## METHOD OF SELECTING THE OPTIMAL PARAMETERS OF A MOBILE MEANS OF PROTECTING PEOPLE FROM THE HEAT EFFECTS OF A FOREST FIRE

A.V. Gutovskiy; S.M. Layshenko. Civil Defence academy of EMERCOM of Russia.  
S.A. Tursenev. Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia

The article considers a method that allows you to choose the optimal design parameters of a mobile means of protecting people from the thermal effects of a forest fire.

*Keywords:* temperature, construction, means of protection, heat exchange, experiment, mathematical model

Согласно статистическим данным за последние годы площадь лесных пожаров на территории Российской Федерации имеет тенденцию роста (рис. 1).



Рис. 1. Динамика площадей лесных пожаров в Российской Федерации [1]

Для ликвидации лесных пожаров, достигающих масштабы чрезвычайных ситуаций, ежегодно привлекаются подразделения МЧС России.

Применяемые на сегодняшний день табельные средства защиты от тепловых воздействий пожара обладают характеристиками, не обеспечивающими достаточной безопасности в случае попадания подразделения в окружение горячей кромкой верхового лесного пожара.

Неоднократно происходили случаи гибели подразделений, попавших в огненную ловушку [2].

Наибольшей опасности подвергается личный состав, выполняющий работы в непосредственной близости от горячей кромки, в том числе и боевые расчеты пожарных автомобилей (ПА).

С целью повышения безопасности экипажей ПА, привлекаемых на тушение лесных пожаров, разработана конструкция мобильного средства защиты людей в виде быстровозводимой палатки из термостойких материалов в форме полусферы (патент на изобретение [3]). Разработка выполнялась на основе методики выбора оптимальных параметров средства защиты, состоящей из следующих этапов:

1. Построение модели в общем виде.

Согласно исследованиям [2] время достижения предельно допустимой температуры  $t_{\text{пдт}}$  во внутреннем пространстве средства защиты не должно быть меньше 15 мин:

$$t_{\text{пдт}} = f(\bar{U}, \bar{A}) \geq 15 \text{ мин},$$

где  $\bar{U}$  – параметры окружающей среды на пожаре;  $\bar{A}$  – параметры средства защиты:

$$\bar{U} = f(T_s, q_s, t_э, w, P_m, K_{\text{кол}}, K_{\text{кач}}, w_{\text{ГК}} \dots),$$

где  $T_s$  – температура окружающей среды на пожаре;  $t_э$  – время тепловой экспозиции;  $q_s$  – тепловой поток пожара;  $w$  – скорость ветра;  $P_m$  – рельеф местности;  $K_{\text{кол}}$  – количество лесных горючих материалов;  $K_{\text{кач}}$  – качество лесных горючих материалов;  $w_{\text{ГК}}$  – скорость движения горящей кромки лесного пожара.

$$\bar{A} = f(\lambda, \rho, c, \varepsilon, \Delta T_k, \alpha, \delta, \Phi^{(e)}, \Phi^{(i)}, F, \nu, \mu, \beta, S_i),$$

где  $\lambda$  – коэффициент теплопроводности;  $\rho$  – плотность;  $c$  – теплоемкость;  $\varepsilon$  – степень черноты поверхности;  $\Delta T_k$  – разность температур между поверхностями элемента ограждения  $\Delta T_k = T_1 - T_m$ , где  $T_1$  – температура внешней поверхностями элемента ограждения,  $T_m$  – температура внутренней поверхностями элемента ограждения;  $\alpha$  – коэффициент конвективной теплоотдачи;  $\delta$  – толщина;  $\Phi^{(e)}$  – внешняя форма;  $\Phi^{(i)}$  – внутренняя форма;  $F$  – площадь поверхности;  $\nu$  – кинетическая вязкость воздуха;  $\mu$  – коэффициент вязкости воздуха;  $\beta$  – коэффициент объемного расширения воздуха;  $S_i$  – стоимость материалов средства защиты.

При следующих ограничениях:

$$1. t_{\text{тр}} \geq t_{\text{пдт}} \geq t_э,$$

где  $t_{\text{тр}}$  – время начала термического разрушения материала;  $t_{\text{пдт}}$  – время достижения предельно допустимой температуры воздуха во внутреннем пространстве средства защиты;  $t_э$  – время тепловой экспозиции  $t_э \leq 15$  мин.

2. Температура воздуха во внутреннем пространстве средства защиты  $T_v \leq 60$  °С (так как дыхательные аппараты общего назначения, рассчитаны на применение при температуре окружающей среды от – 40 до +60 °С).

3. Температура окружающей среды на пожаре  $T_s = 1200$  °С (согласно работе [4] максимальная температура верхового лесного пожара 1200 °С).

4. Тепловой поток пожара  $q_s = 50$  кВт/м<sup>2</sup> (согласно работе [5] средство защиты от верхового пожара должно обладать устойчивостью к тепловому потоку, равному 50 кВт/м<sup>2</sup>, в течение 15 мин).

5. Масса средства защиты  $m_w \leq 30$  кг (согласно работе [6] допустимая масса, перемещаемая одним человеком, не должна превышать 30 кг).

$$6. \text{Объем средства защиты в транспортном положении } V_w \leq 1,2 \text{ м}^3 [6].$$

7. Диаметр средства защиты в развернутом положении  $D_w \leq 4$  м (согласно работе [7] расстояние между деревьями в густом лесу не более 4 м).

$$8. \text{Стоимость материалов средства защиты } S_i \rightarrow \min.$$

## 2. Структурная оптимизация.

### 2.1. Выбор конкурентоспособных форм средства защиты.

#### 2.1.1. Создание физической модели внешней формы средства защиты.

Критерием оптимизации является  $T_m$  – температура внутренней поверхности элемента ограждения:

$$T_m = f(\Phi^{(e)}) \rightarrow \min_{\Phi^{(e)}}$$

где  $\Phi^{(e)}$  – форма внешней поверхности средства защиты.

2.1.2. Математическое моделирование или физический эксперимент для выбора внешней формы средства защиты с наименьшей температурой на внутренней поверхности элемента ограждения  $T_m$  при одинаковой температуре внешней поверхности элемента ограждения  $T_k^{(e)}$  в течение времени тепловой экспозиции  $t_3$ .

#### 2.2. Создание физической модели внутренней формы средства защиты.

Критерием оптимизации является  $T_b$  – температура поверхности человека, находящегося в средстве защиты:

$$T_b = f(\Phi^{(i)}) \rightarrow \min_{\Phi^{(i)}}$$

где  $\Phi^{(i)}$  – форма внутренней поверхности средства защиты.

2.2.1. Математическое моделирование или физический эксперимент для выбора внутренней формы средства защиты с наименьшей температурой на поверхности человека  $T_b$  при одинаковой температуре внутренней поверхности элемента ограждения  $T_m$  в течение времени тепловой экспозиции  $t_3$  с учетом результатов п. 2.1.2.

## 3. Параметрическая оптимизация.

Критерием оптимизации является  $T_m$  – температура внутренней поверхности элемента ограждения:

$$T_m = f(\lambda, \rho, c, \varepsilon, \alpha, \delta, F, v, \mu, \beta, T_1) \rightarrow \min_{\lambda, \rho, c, \varepsilon, \alpha, \delta}$$

При ограничении, что:

$$t_{mp} \geq t_3,$$

где  $t_{mp}$  – время начала термического разрушения материала;  $t_3$  – время тепловой экспозиции,  $t_3 \leq 15$  мин.

## 4. Определение геометрических размеров внутреннего пространства средства защиты:

$$D_i = D_w - 2 \delta_{pm},$$

где  $D_i$  – диаметр внутреннего пространства средства защиты;  $D_w$  – внешний диаметр средства защиты;  $\delta_{pm}$  – толщина пакета материалов.

$$D_i = f(N, V_i),$$

где  $N$  – количество людей;  $V_i$  – объем внутреннего пространства средства защиты.



5. Определение параметров элементов системы «Окружающая среда на пожаре – средство защиты – человек».

5.1. Математическое моделирование нестационарного теплопереноса в системе «Окружающая среда на пожаре – средство защиты – человек».

Определение  $m$  функций температурных полей  $T_k = T_k(x, t)$  внутри элементов ограждающей конструкции, удовлетворяющих следующим условиям однозначности:

– уравнению теплопроводности:

$$-\lambda_k \frac{\partial T_k}{\partial x} = a_k \frac{\partial^2 T_k}{\partial^2 x}, a_k = \frac{\lambda_k}{c_k \rho_k}, t > 0, 0 \leq x \leq \delta_k, k = \overline{1, m};$$

– начальным условиям:

$$T_k(x, 0) = T_0, k = \overline{1, m};$$

– левому граничному условию при  $k = 1$ :

$$-\lambda_1 \frac{\partial T_1}{\partial x} = \alpha_1 \left( T_s - T_1 \Big|_{x=0} \right) + \varepsilon_l \sigma_0 \left( T_s^4 - T_1^4 \Big|_{x=0} \right) \varphi_l + \varepsilon_w q_s;$$

– правому граничному условию при  $k = m$ :

$$T_k \Big|_{x=\delta_k} = T_{k+1} \Big|_{x=0};$$

$$\lambda_k \frac{\partial T_k}{\partial x} \Big|_{x=\delta_k} = \lambda_{k+1} \frac{\partial T_{k+1}}{\partial x} \Big|_{x=0}, k = \overline{1, (m-1)};$$

– граничным условиям четвертого рода между слоями:

$$-\lambda_k \frac{\partial T_k}{\partial x} \Big|_{x=\delta_k} = \alpha_k \left( T_{v,k} - T_k \Big|_{x=\delta_k} \right) + \varepsilon_k \sigma_0 \left( T_{k+1}^4 \Big|_{x=0} - T_k^4 \Big|_{x=\delta_k} \right);$$

$$\lambda_{k+1} \frac{\partial T_{k+1}}{\partial x} \Big|_{x=\delta_k} = \alpha_{k+1} \left( T_{v,k} - T_{k+1} \Big|_{x=0} \right) + \varepsilon_k \sigma_0 \left( T_{k+1}^4 \Big|_{x=\delta_k} - T_k^4 \Big|_{x=0} \right).$$

– для случая наличия воздушной прослойки между  $k$  и  $(k+1)$  слоем определение дифференциального уравнения, связывающего температуру тела с параметрами окружающей среды:

$$c_b M \frac{\partial T_b}{\partial t} = S_b \left[ \alpha_b (T_v - T_b) + \varepsilon_r \sigma_0 \left( T_m^4 \Big|_{x=\delta_m} - T_b^4 \right) \varphi_b \right],$$

где  $T_k$  – температура  $k$ -го элемента;  $T_v$  – температура воздуха внутри средства защиты;  $T_{v,k}$  – температура воздуха в воздушной прослойке между  $k$  и  $(k+1)$  слоем;  $a_k$  – коэффициент температуропроводности  $k$ -го элемента ограждения;  $\lambda_k$  – коэффициент теплопроводности  $k$ -го элемента ограждения;  $c_k$  – удельная теплоемкость  $k$ -го элемента;  $\rho_k$  – плотность  $k$ -го элемента;  $\delta_k$  – толщина  $k$ -го элемента;  $\alpha_k$  – коэффициент теплоотдачи  $k$ -го элемента ограждения средства защиты;  $\varepsilon_l$  – приведенная степень черноты системы «окружающая среда на пожаре – средство защиты»;  $\varepsilon_r$  – приведенная степень черноты системы «средство защиты – человек»;  $\varepsilon_w$  – степень черноты поверхности средства защиты;  $\varepsilon_k$  – приведенная степень черноты системы  $(k) - (k + 1)$ -ый слой;  $\varphi_l, \varphi_r$  – коэффициенты облученности внешней и внутренней поверхности средства защиты;  $\alpha_b$  – коэффициент теплоотдачи человека;  $\varphi_b$  – коэффициент облученности поверхности человека;  $c_b$  – удельная теплоемкость человека;  $M$  – масса человека;  $S_b$  – площадь тела человека;  $\sigma_0$  – постоянная Стефана-Больцмана.

Рассмотренная система уравнений является математической моделью теплообмена окружающей среды на пожаре со средством защиты и человеком, находящимся внутри, и позволяет определить тепловые параметры микроклимата во внутреннем пространстве средства защиты при внешнем тепловом воздействии.

#### 6. Анализ полученных результатов и изменение параметров средства защиты.

При невыполнении ограничений к мобильному средству защиты выполняется корректировка параметров и цикл повторяется.

Таким образом, разработанная методика позволяет определить оптимальные конструктивные параметры мобильного средства защиты людей от теплового воздействия лесного пожара. На ее основе планируется создание технических требований к средству защиты, которое должно обладать адекватными характеристиками по отношению к параметрам верхового лесного пожара и обеспечивать безопасность боевому расчету ПА.

### Литература

1. Платформа Яндекс Дзен. 2019 год стал вторым с начала века по площади лесных пожаров в России, а 2020 может побить печальный рекорд. URL: <https://zen.yandex.ru/media/id/5ca77c6a2af6a600b384e042/2019-god-stal-vtorym-s-nachala-veka-po-ploscadi-lesnyh-pojarov-v-rossii-a-2020-mojet-pobit-pechalnyi-rekord-5e0f59cb92414d00b1feb875> (дата обращения: 11.02.2020).
2. Гутовский А.В. К вопросу о защите пожарных от повышенных тепловых воздействий лесного пожара // Предотвращение. Спасение. Помощь: сб. тр. конф. Химки: АГЗ МЧС России, 2018. С. 18–20.
3. Мобильное средство защиты людей от лесного пожара: пат. Рос. Федерация № 2683736 / Гутовский А.В., Гомонай М.В.; заявитель и патентообладатель Гутовский А.В., Гомонай М.В.; заявл. 06.06.2018; опубл. 01.04.2019. Бюл. № 10, 2019.
4. Андреев Ю.А., Брюханов А.В. Профилактика, мониторинг и борьба с природными пожарами (на примере Алтае-Саянского экорегиона): справочное пособие. Красноярск, 2011. 272 с.
5. Справочно-информационная система «Ландшафтные пожары». Средства борьбы. Коллективные средства спасения. URL: [http://sibpsa.ru/sis\\_pp/sr\\_br/sredstva/view.php?code=2](http://sibpsa.ru/sis_pp/sr_br/sredstva/view.php?code=2) (дата обращения: 04.03.2019).
6. ГОСТ 12.2.033–78 ССБТ. Рабочее место при выполнении работ стоя. Общие эргономические требования. М.: Госстандарт СССР, 1978. 9 с.
7. Справочник по военной топографии / А.М. Говорухин [и др.]. М.: Воениздат, 1980. 352 с.

# АНАЛИЗ ПРИЧИН ПОЖАРОВ НА ЛЕГКОВЫХ АВТОМОБИЛЯХ

**Ю.Н. Елисеев, кандидат технических наук;**

**Т.П. Сысоева, кандидат технических наук;**

**Е.В. Копкин, доктор технических наук, доцент.**

**Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России**

Проведен анализ статистической деятельности судебно-экспертных учреждений федеральной противопожарной службы МЧС России за 2014–2018 гг. по исследованию пожаров, произошедших на транспортных средствах. Рассмотрены основные места возникновения горения и основные причины их возникновения, установленные сотрудниками экспертных подразделений. На основании полученных данных предложены основные версии возникновения горения, которые должны быть рассмотрены пожарно-техническим экспертом в зависимости от места расположения очага пожара.

*Ключевые слова:* пожар, пожарно-техническая экспертиза, очаг пожара, причина пожара, статистика, исследование, транспортное средство

## ANALYSIS OF THE CAUSES OF FIRES IN PASSENGER CARS

Yu.N. Eliseev; T.P. Sysoeva; E.V. Kopkin.

Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia

The analysis of the statistical activity of forensic institutions of the Federal fire service of the EMERCOM of Russia for 2014–2018 on the study of fires that occurred on vehicles. The main places of burning occurrence and the main reasons for their occurrence, established by the staff of expert divisions, are considered. Based on the data obtained, the main versions of the occurrence of burning are proposed, which should be considered by a fire technical expert depending on the location of the fire source.

*Keywords:* fire, fire-technical expertise, fire source, cause of fire, statistics, research, vehicle

В статистических выборках объектов, ранжированных по частоте пожаров, автотранспортные средства занимают второе место, уступая лишь жилым помещениям. Проблема экспертного исследования пожаров автотранспортных средств становится с каждым годом актуальнее, так как выяснение причины пожара имеет основополагающее значение для установления лица, несущего ответственность за ущерб [1]. Особенно это относится к легковому автотранспорту. В крупных городах экспертизы по делам о пожарах в легковых автомобилях сейчас являются одними из наиболее распространенных. В общем такое положение отвечает мировым тенденциям, обусловленным ростом количества пожаров на автотранспорте.

Согласно статистическим данным [2] в настоящее время на территории Российской Федерации снижается как общее число пожаров, так количество возгораний, произошедших на транспортных средствах (табл. 1). Наблюдается тенденция снижения и процентного содержания пожаров транспортных средств к общему их количеству.

Основанная работа по установлению причины возгораний ложится на сотрудников судебно-экспертных учреждений федеральной противопожарной службы МЧС России (СЭУ ФПС).

Так ежегодно сотрудники СЭУ исследуют около 5 тыс. пожаров, произошедших на автотранспортных средствах, что составляет более 25 % от общего исследованного ими количества.

Таблица 1. Основные показатели обстановки с пожарами в России

| Наименование показателя                      | Отчетный год |       |       |       |
|--|--------------|-------|-------|-------|
|  | 2014         | 2015  | 2016  | 2017  |
| Количество пожаров, тыс. шт.                 | 150,8        | 145,6 | 139,5 | 133,4 |
| Количество пожаров транспортных средств, шт. | 22847        | 20817 | 19299 | 17521 |
| Процент от общего количества пожаров, %      | 15,2         | 14,3  | 13,8  | 13,2  |

В табл. 2 приводятся сведения об основных причинах, установленных сотрудниками СЭУ, на основании информации, предоставляемой ими в соответствии с приказом МЧС России от 22 августа 2013 г. № 551 «О предоставлении сведений о деятельности судебно-экспертных учреждений федеральной противопожарной службы Государственной противопожарной службы».

Таблица 2. Основные показатели исследованных пожаров на транспортных средствах сотрудниками СЭУ

| Наименование показателя  | Отчетный период |      |      |      |      |
|--|-----------------|------|------|------|------|
|  | 2014            | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 |
| Аварийные режимы в нештатных электросетях, шт.                               | 195             | 222  | 77   | 147  | 135  |
| Аварийные режимы работы в автосигнализациях и других сервисных системах, шт. | 50              | 57   | 167  | 99   | 96   |
| Аварийные режимы работы в штатных электросетях, шт.                          | 998             | 970  | 912  | 826  | 875  |
| Загорание горючих жидкостей при контакте с горячими поверхностями, шт.       | 577             | 582  | 599  | 573  | 513  |
| Искусственное инициирование горения (поджог), шт.                            | 2975            | 3191 | 2556 | 2458 | 2112 |
| Прочие, шт.  | 630             | 621  | 504  | 350  | 271  |
| Общее количество, шт.  | 5425            | 5643 | 4815 | 4453 | 4002 |

Как следует из табл. 2, общее количество пожаров, исследованных экспертными подразделениями МЧС России с 2014 по 2015 гг., увеличивалось, а с 2016 г. по 2018 г. наблюдается спад, обусловлено это в первую очередь организационно-штатными изменениями, а именно сокращением числа сотрудников, непосредственно занимающихся экспертизой. Впоследствии это может негативно сказаться и на общей тенденции снижения количества пожаров в целом, так как поиск возможных путей снижения ущерба невозможен без установления точной непосредственной причины.

Снижение количества пожаров транспортных средств обусловлено в первую очередь:

- снижением криминальной составляющей (за последние пять лет количество поджогов уменьшилось примерно на 30 %), в первую очередь это связано с улучшением социального положения граждан в обществе, а также проведением воспитательных мероприятий с несовершеннолетними лицами;

- совершенствованием конструктивных особенностей современных автомобилей (количество пожаров возникших по техническим причинам уменьшилось примерно на 12 %).

В тоже время количество пожаров, возникших в автосигнализациях и других сервисных системах, дополнительно установленных на транспортные средства, за последние пять лет увеличилось практически в два раза. Причастность к возникновению пожара подобных устройств в ряде случаев требует особо серьезных доказательств, так как они могут быть смонтированы не заводом-изготовителем автомобиля и установленная причина пожара является ключом к решению вопроса о том, кто несет финансовую ответственность за случившееся. В первую очередь это связано с падением платежеспособности населения в целом, многие автовладельцы предпочитают устанавливать дополнительное оборудование не в сертифицированных центрах, а в «кустарных условиях».

К прочим загораниям автомобиля можно отнести загорание автомобиля от находящегося рядом транспортного средства или от другого горящего объекта. Экспериментально установлено, что при пожаре, например в салоне легкового автомобиля, высота пламени и столба дыма достигает 6–8 м; плотность теплового потока на расстоянии 4–5 м и высота 1,5 м составляет 3–5 кВт/м<sup>2</sup>. При ветре загорание других автомобилей возможно на расстоянии до 4 м.

Не менее интересными оказываются данные и по месту расположения на поврежденных транспортных средствах очага пожара, то есть того места, где первоначально возникло горение. В табл. 3 и на рис. 1, 2 приведены результаты исследования пожаров на транспорте сотрудниками СЭУ в 2018 г. по месту нахождения очага пожара. На приведенных данных видно, что на грузовых транспортных средствах очаг пожара преимущественно располагался в моторном отсеке – практически на каждом втором пожаре (рис. 1), реже на наружных кузовных элементах (19,9 %) и в кабине транспортного средства (22,7 %), что, в свою очередь, свидетельствует о преобладании техногенных причин возникновения пожара.

На пожарах, произошедших на легковых автомобилях, очаг пожара преимущественно располагался на наружных кузовных элементах – также практически в каждом втором случае (рис. 2), реже в моторном отсеке (22,6 %) и в салоне (19,6 %), что в свою очередь свидетельствует о преобладании криминальных причин возникновения горения.

Таблица 3. Распределение пожаров в зависимости от места расположения очага пожара\*

| Место расположения очага пожара    | Количество пожаров |                    |
|------------------------------------|--------------------|--------------------|
|                                    | легковой транспорт | грузовой транспорт |
| В моторном отсеке                  | 510                | 200                |
| В багажном отсеке                  | 72                 | 21                 |
| В салоне                           | 443                | 100                |
| На наружных кузовных элементах     | 967                | 88                 |
| Два и более очагов пожара          | 154                | 22                 |
| Неустановленные причины возгорания | 110                | 10                 |

\* – на основании данных, предоставленных из 60 СЭУ ФПС МЧС России

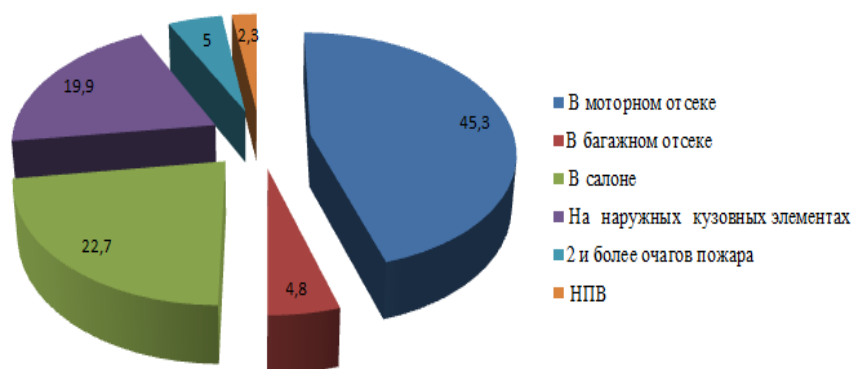


Рис. 1. Место расположения очага пожара на грузовом автотранспорте, в % от общего количества

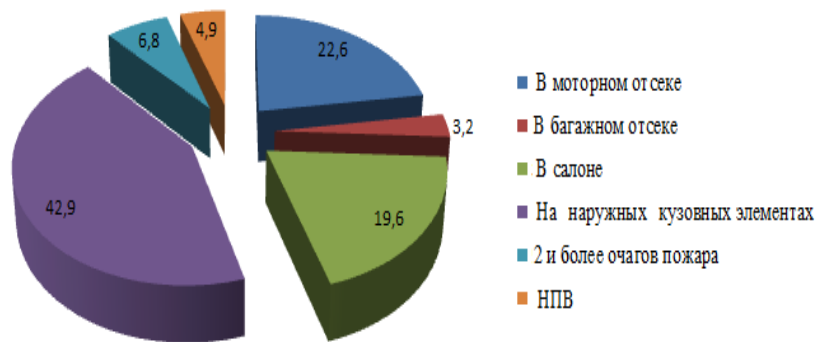


Рис. 2. Место расположения очага пожара на легковом автотранспорте, в % от общего количества

Сопоставление приведенных статистических данных по причинам произошедших пожаров с местом возникновения горения (очагом пожара) позволяет определить и основные источники зажигания, причастность которых необходимо рассматривать, исходя из того, где расположен очаг.

На рис. 3 приведена схема распределения причин пожаров легковых автомобилей в зависимости от места расположения очага пожара.

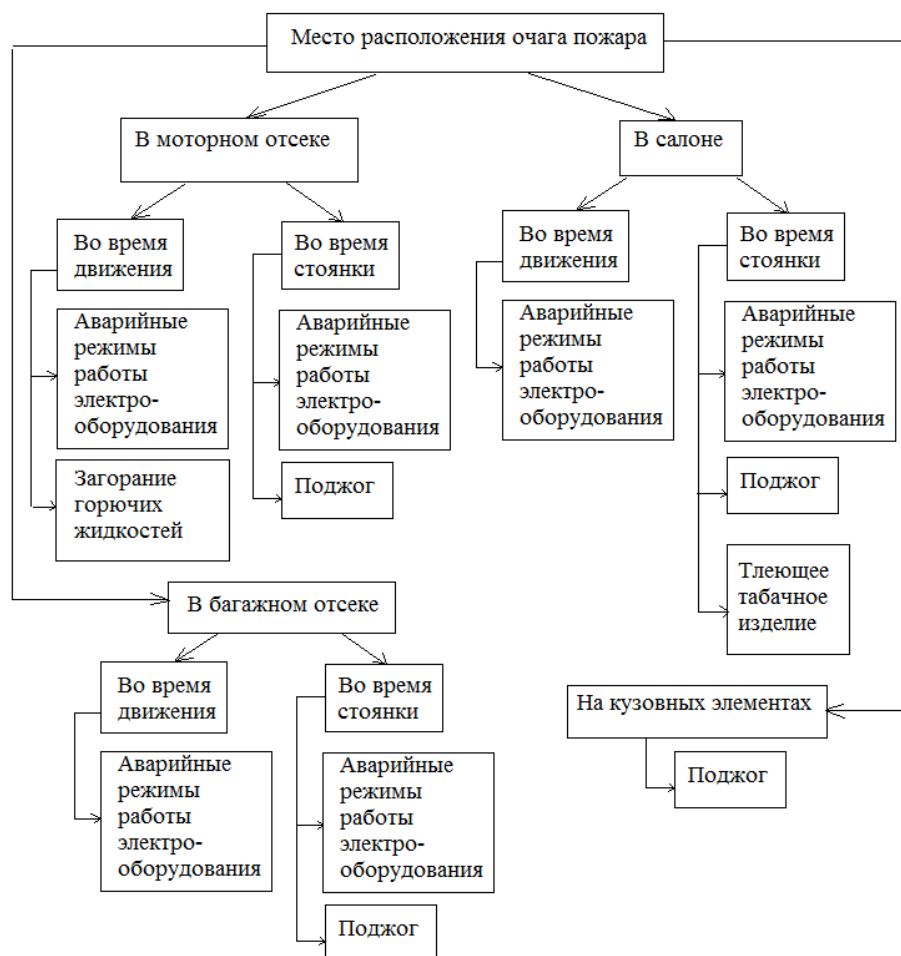


Рис. 3. Схема распределения причин пожаров легковых автомобилей в зависимости от места расположения очага пожара

Приведенные выше статистические данные будут полезны пожарно-техническим экспертам при установлении причин возгораний транспортных средств.

## Литература

1. Елисеев Ю.Н., Чешко И.Д., Соколова А.Н. Экспертная дифференциация поджога и загорания автомобиля в результате утечки топлива // Пожарная безопасность. 2007. № 1. С. 97–104.
2. Пожары и пожарная безопасность в 2017 году: статистический сб. / под общ. ред. Д.М. Гордиенко. М.: ВНИИПО, 2018.
3. Моторыгин Ю.Д. Моделирование пожароопасных режимов в электросети автомобилей для принятия решения при проведении пожарно-технической экспертизы // Пожаровзрывобезопасность. 2016. Т. 25. № 9. С. 45–51.
4. Моторыгин Ю.Д., Косенко Д.В., Бибарсов Р.Ш. Модель возникновения и развития аварийных режимов в электросети автомобиля, приводящих к возникновению пожара // Проблемы управления рисками в техносфере. 2015. № 4 (36). С. 82–85.
5. Моторыгин Ю.Д. Стохастическое моделирование процесса горения автомобиля с помощью конечных цепей Маркова // Транспорт России: проблемы и перспективы – 2015: материалы Юбилейной междунар. науч.-практ. конф. СПб.: Институт проблем транспорта им. Н.С. Соломенко РАН., 2015. Т. 2. С. 154–156.
6. Таранцев А.А., Малыгин И.Г., Ключ В.В. О возможности совершенствования некоторых нормативных документов в области пожарной безопасности // Пожаровзрывобезопасность. 2016. Т. 25. № 9. С. 13–21.
7. Малыгин И.Г. Интеллектуальные системы транспортной безопасности и пути внедрения их в мегаполисах // Транспорт России: проблемы и перспективы – 2014: материалы Междунар. науч.-практ. конф. СПб.: Институт проблем транспорта им. Н.С. Соломенко РАН, 2014. С. 56–63.
8. Малыгин И.Г., Трудов О.Г. Метод модификационного управления стоимостью жизненного цикла противопожарных технических систем // Пожаровзрывобезопасность. 2016. Т. 25. № 5. С. 5–18.
9. Соединение автомобильных проводников методом ультразвуковой сварки. Пожарная опасность / Елисеев Ю.Н. [и др.] // Пожаровзрывобезопасность. 2018. Т. 27. № 10. С. 38–45.



## СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

**Аксенов Александр Александрович** – адъюнкт фак-та подгот. кадров высш. квалификации СПб ун-та ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149);

**Актерский Юрий Евгеньевич** – проф. каф. пож. безопасн. зданий и автоматиз. систем пожаротушения СПб ун-та ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), д-р воен. наук, проф.;

**Андрюшкин Александр Юрьевич** – зав. каф. «Технология конструкц. материалов и пр-ва ракетно-космич. техн.» Балт. гос. техн. ун-та «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова (190005, Санкт-Петербург, ул. 1-я Красноармейская, д. 1/21), канд. техн. наук, доц.;

**Астанков Алексей Михайлович** – нач. лаб. Воен. ин-та (науч.-исслед.) Воен.-космич. акад. им. А.Ф. Можайского (197082, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, д. 13), e-mail: astankovy@yandex.ru;

**Афанасьев Евгений Олегович** – препод. каф. физ.-техн. основ обеспеч. пож. безопасн. СПб ун-та ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149);

**Бушнев Геннадий Васильевич** – доц. каф. пож. безопас. технол. проц. и пр-в СПб ун-та ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), e-mail: 1937bush@mail.ru, канд. техн. наук, доц.;

**Вагин Александр Владимирович** – доц. каф. пож. безопасн. зданий и автоматиз. систем пожаротушения СПб ун-та ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), тел. (812) 388-69-68, e-mail: alexwagin@yandex.ru, канд. техн. наук, доц.;

**Воропаев Николай Петрович** – доц. каф. защ. нас. и территорий СПб ун-та ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), e-mail: voropaev.n@igps.ru, канд. воен. наук;

**Вострых Алексей Владимирович** – адъюнкт фак-та подгот. кадров высш. квалификации СПб ун-та ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149);

**Гавкалюк Богдан Васильевич** – нач. СПб ун-та ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), канд. техн. наук;

**Гутовский Алексей Вениаминович** – адъюнкт каф. экспл. транспорт.-технол. машин и комплексов № 34 инж. фак-та Акад. гражд. защиты МЧС России (Московская область, г. Химки, мкр-н. Новогорск), e-mail: gutovskiy.alexey@mail.ru;

**Елисеев Юрий Николаевич** – нач. исслед. центра экспертизы пож. Науч.-исслед. ин-та перспектив. исслед. и инновац. технол. в обл. безопасн. жизнедеят. (193079, Санкт-Петербург, Октябрьская наб., д. 35), e-mail: eliseev-@mail.ru, канд. техн. наук;

**Завьялов Дмитрий Евгеньевич** – доц. каф. надзор. деят. СПб ун-та ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), e-mail: zavialov-dmitriy@mail.ru, канд. техн. наук;

**Кадочникова Елена Николаевна** – доц. каф. пож. безопасн. технол. процессов и пр-в СПб ун-та ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), канд. техн. наук;

**Кеда Дмитрий Прокопьевич** – доц. каф. пож. безопасн. зданий и автоматиз. систем пожаротушения СПб ун-та ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), e-mail: dp.keda@gmail.com, канд. техн. наук, доц.;

**Кондрашин Алексей Викторович** – зам. нач. каф. надзор. деят. СПб ун-та ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), e-mail: kondrashin@igps.ru, канд. техн. наук, доц.;

**Копкин Евгений Вениаминович** – проф. каф. переподгот. и повыш. квалификации спец-в СПб ун-та ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), e-mail: korpin.e@igps.ru, д-р техн. наук, доц.;

**Кузьмин Анатолий Алексеевич** – доц. каф. физ.-техн. основ обеспеч. пож. безопасн. СПб ун-та ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), e-mail: kaa47@mail.ru, канд. пед. наук, доц.;



**Кутузов Василий Васильевич** – проф. каф. пож. безопасн. зданий и автоматиз. систем пожаротушения СПб ун-та ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), e-mail: kutuzov-w@mail.ru, канд. техн. наук, доц.;

**Лабинский Александр Юрьевич** – доц. каф. прикл. мат. и информ. технол. СПб ун-та ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), канд. техн. наук, доц.;

**Ложкин Владимир Николаевич** – проф. каф. пож. авар.-спас. техн. и авт. хоз-ва СПб ун-та ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), д-р техн. наук, проф., засл. деят. науки РФ;

**Ложкина Ольга Владимировна** – доц. каф. физ.-хим. основ процессов горения и тушения СПб ун-та ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), e-mail: olojkina@yandex.ru, канд. хим. наук, доц., д-р техн. наук;

**Ляшенко Сергей Михайлович** – зав. каф. пож. безопасн. Акад. гражд. защиты МЧС России (141435, Московская область, г. Химки, мкр. Новогорск), e-mail: s.liashenko@amchs.ru, канд. воен. наук, доц.;

**Монашков Виктор Владимирович** – доц. СПб гос. политехн. ун-та Петра Великого (195251, Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д. 29), e-mail: mvv0110@mail.ru, канд. техн. наук, доц.;

**Моторин Виктор Михайлович** – доц. каф. спец. технич. систем космич. комплексов Воен. ин-та (науч.-исслед.) Воен.-космич. акад. им. А.Ф. Можайского (197082, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, д. 13), e-mail: stmvm@yandex.ru, канд. техн. наук, доц.;

**Николаев Денис Валерьевич** – нач. ин-та развития СПб ун-та ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), e-mail: nikolaev01@mail.ru, канд. пед. наук;

**Овчинникова Татьяна Игоревна** – зав. каф. «Техносферная безопасность» Нац. исслед. технол. ун-та «МИСиС» (119991, Москва, Ленинский пр., д. 4), д-р техн. наук, доц.;

**Пермяков Алексей Александрович** – зам. нач. каф. физ.-техн. основ обесп. пож. безопасн. СПб ун-та ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), e-mail: ftoorb@igps.ru, канд. пед. наук;

**Поляков Александр Степанович** – проф. каф. физ.-техн. основ обесп. пож. безопасн. СПб ун-та ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), канд. техн. наук, проф., заслуж. деят. науки РФ;

**Поташев Дмитрий Анатольевич** – ст. препод.-методист отд. инновац. проектов и программ ин-та разв. СПб ун-та ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), e-mail: dim-po@igps.ru;

**Раус Екатерина Викторовна** – нач. отд. Упр. вневедомств. охраны войск нац. гвардии РФ по гор. Москве (109390, Москва, ул. Люблинская, д. 16);

**Рева Юрий Викторович** – доц. каф. сервис безопасн. СПб ун-та ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), канд. воен. наук, доц.;

**Романов Николай Николаевич** – доц. каф. физ.-техн. основ обесп. пож. безопасн. СПб ун-та ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), e-mail: nik57nik@mail.ru, канд. техн. наук, доц.;

**Савенкова Анастасия Евгеньевна** – препод. каф. надзор. деят. СПб ун-та ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), e-mail: savenkova@igps.ru, канд. техн. наук;

**Савонин Сергей Викторович** – доц. каф. хим. энергетики СПб гос. технол. ин-та (техн. ун-та) (190013, Санкт-Петербург, Московский пр., 26), e-mail: s.s.v.72@inbox.ru, канд. техн. наук, доц.;

**Савчук Олег Николаевич** – проф. каф. сервис безопасн. СПб ун-та ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), тел. (812) 369-25-85, e-mail: savchuk.o@igps.ru, канд. техн. наук, проф., засл. работник высш. шк. РФ, почетный проф. ун-та;

**Северин Сергей Николаевич** – адъюнкт фак-та подгот. кадров высш. квалификации СПб ун-та ГПС МЧС России (196106, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), e-mail: serega-siverin@yandex.ru;

**Скуртул Игорь Владимирович** – студент ин-та безопасн. жизнедеят. СПб ун-та ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), e-mail: skurtul1978@mail.ru;

**Сысоева Татьяна Павловна** – ст. науч. сотр. отд. инновац. и информ. технол. в экспертизе пож. Науч.-исслед. ин-та перспектив. исслед. и инновац. технол. в обл. безопасн. жизнедеят. (193079, Санкт-Петербург, Октябрьская наб., д. 35), e-mail: ficentre@igps.ru, канд. техн. наук;

**Сытдыков Максим Равильевич** – нач. каф. пож, авар.-спас. техн. и автом. хоз. СПб ун-та ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), канд. техн. наук, доц.;

**Таранцев Александр Алексеевич** – проф. каф. орг. пожаротушения и провед. авар.-спас. работ СПб ун-та ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149); зав. лаб. проблем безопасн. транспорт. систем Ин-та проблем транспорта им. Н.С. Соломенко РАН (199178, Санкт-Петербург, 12-я линия ВО, д. 13), e-mail: t\_54@mail.ru, д-р техн. наук, проф., засл. работник высш. шк. РФ;

**Туманов Александр Юрьевич** – доц. СПб гос. политехн. ун-та Петра Великого (195251, Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д. 29), e-mail: toumanov@mail.ru, канд. техн. наук, доц.;

**Туманов Владимир Александрович** – СПб гос. политехн. ун-та Петра Великого (195251, Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д. 29), e-mail: spbrus@mail.ru;

**Турсенев Сергей Александрович** – зам. нач. центра орг. науч.-исслед. и ред. деят. – нач. отд. инф. обеспеч. населения и технол. информ. поддержки РСЧС и пож. безопасн. СПб ун-та ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), канд. техн. наук, доц.;

**Ударцева Ольга Владимировна** – проф. каф. техносф. безопасн. Тюменского индустр. ун-та (625000, г. Тюмень, ул. Володарского, д. 38), e-mail: oblad@mail.ru, д-р техн. наук, доц.;

**Украинцева Татьяна Васильевна** – доц. каф. хим. энергетики СПб гос. технол. ин-та (техн. ун-та) (190013, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 26), e-mail: s.s.v.72@inbox.ru, канд. техн. наук, доц.;

**Уткин Олег Валерьевич** – зам. нач. каф. прикл. мат. и информ. технол. СПб ун-та ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), e-mail: utkin\_oleg@igps.ru;

**Шаптала Вадим Владимирович** – доц. каф. информ. технол. Белгородского гос. технол. ун-та им. В.Г. Шухова (308012, г. Белгород, ул. Костюкова, д. 46), e-mail: shaptalavadim@yandex.ru, канд. техн. наук, доц.;

**Шидловский Григорий Леонидович** – нач. каф. пож. безопасн. зданий и автоматиз. систем пожаротушения СПб ун-та ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), e-mail: shidlovsky.g@igps.ru, канд. техн. наук, доц.

**Шилов Александр Геннадьевич** – адъюнкт фак-та подгот. кадров высш. квалификации СПб ун-та ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), e-mail: Shilov@igps.ru.



---

---

## ИНФОРМАЦИОННАЯ СПРАВКА

---

---

Старейшее учебное заведение пожарно-технического профиля России образовано 18 октября 1906 г., когда на основании решения Городской Думы Санкт-Петербурга были открыты Курсы пожарных техников. Наряду с подготовкой пожарных специалистов, учебному заведению вменялось в обязанность заниматься обобщением и систематизацией пожарно-технических знаний, оформлением их в отдельные учебные дисциплины. Именно здесь были созданы первые отечественные учебники, по которым обучались все пожарные специалисты страны.

Учебным заведением за вековую историю подготовлено более 40 тыс. специалистов, которых всегда отличали не только высокие профессиональные знания, но и беспредельная преданность профессии пожарного и верность присяге. Свидетельство тому – целый ряд сотрудников и выпускников вуза, награжденных высшими наградами страны, среди них: кавалеры Георгиевских крестов, четыре Героя Советского Союза и Герой России. Далеко не случаен тот факт, что среди руководящего состава пожарной охраны страны всегда было много выпускников учебного заведения.

Сегодня федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский университет Государственной противопожарной службы Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий» – современный научно-образовательный комплекс, интегрированный в российское и мировое научно-образовательное пространство. Университет по разным формам обучения – очной, заочной и заочной с применением дистанционных технологий – осуществляет обучение по 25 программам среднего, высшего образования, а также подготовку специалистов высшей квалификации: докторантов, адъюнктов, аспирантов, переподготовку и повышение квалификации специалистов более 30 категорий сотрудников МЧС России.

Начальник университета – генерал-майор внутренней службы, кандидат технических наук Гавкалюк Богдан Васильевич.

Основным направлением деятельности университета является подготовка специалистов в рамках специальности «Пожарная безопасность». Вместе с тем организована подготовка и по другим специальностям, востребованным в системе МЧС России. Это специалисты в области системного анализа и управления, законодательного обеспечения и правового регулирования деятельности МЧС России, психологии риска и чрезвычайных ситуаций, экономической безопасности в подразделениях МЧС России, пожарно-технической экспертизы и дознания. По инновационным программам подготовки осуществляется обучение специалистов по специализациям «Руководство проведением спасательных операций особого риска» и «Проведение чрезвычайных гуманитарных операций» со знанием иностранных языков, а также подготовка специалистов для военизированных горноспасательных частей по специальности «Горное дело».

Широта научных интересов, высокий профессионализм, большой опыт научно-педагогической деятельности, владение современными методами научных исследований позволяют коллективу университета преумножать научный и научно-педагогический потенциал вуза, обеспечивать непрерывность и преемственность образовательного процесса. Сегодня в университете свои знания и огромный опыт передают: 7 заслуженных деятелей науки Российской Федерации, 11 заслуженных работников высшей школы Российской Федерации, 2 заслуженных юриста Российской Федерации, заслуженные изобретатели Российской Федерации и СССР. Подготовку специалистов высокой квалификации в настоящее время осуществляют 56 докторов наук, 277 кандидатов наук, 58 профессоров, 158 доцентов, 12 академиков отраслевых академий, 8 членов-корреспондентов отраслевых

академий, 5 старших научных сотрудников, 6 почетных работников высшего профессионального образования Российской Федерации, 1 почетный работник науки и техники Российской Федерации, 2 почетных радиста Российской Федерации.

В составе университета:

- 32 кафедры;
- Институт безопасности жизнедеятельности;
- Институт заочного и дистанционного обучения;
- Институт нравственно-патриотического и эстетического развития;
- Институт профессиональной подготовки;
- Институт развития;
- Научно-исследовательский институт перспективных исследований и инновационных технологий в области безопасности жизнедеятельности;
- Дальневосточная пожарно-спасательная академия – филиал университета (ДВПСА);
- пять факультетов: факультет инженерно-технический, факультет экономики и права, факультет подготовки кадров высшей квалификации, факультет пожарной безопасности (подразделение ДВПСА), факультет дополнительного профессионального образования (подразделение ДВПСА).

Институт безопасности жизнедеятельности осуществляет образовательную деятельность по программам высшего образования по договорам об оказании платных образовательных услуг.

Приоритетным направлением в работе Института заочного и дистанционного обучения является подготовка кадров начальствующего состава для замещения соответствующих должностей в подразделениях МЧС России.

Институт развития реализует дополнительные профессиональные программы по повышению квалификации и профессиональной переподготовке в рамках выполнения государственного заказа МЧС России для совершенствования и развития системы кадрового обеспечения, а также на договорной основе.

Научно-исследовательский институт перспективных исследований и инновационных технологий в области безопасности жизнедеятельности осуществляет реализацию государственной научно-технической политики, изучение и решение научно-технических проблем, информационного и методического обеспечения в области пожарной безопасности. Основные направления деятельности научно-исследовательского института: организационное и научно-методическое руководство судебно-экспертными учреждениями федеральной противопожарной службы МЧС России; сертификация продукции в области пожарной безопасности; проведение испытаний и разработка научно-технической продукции в области пожарной безопасности; проведение расчетов пожарного риска и расчетов динамики пожара с использованием компьютерных программ.

Факультет инженерно-технический осуществляет подготовку специалистов по специальностям: «Пожарная безопасность» (специализации: «Пожаротушение», «Государственный пожарный надзор», «Руководство проведением спасательных операций особого риска», «Проведение чрезвычайных гуманитарных операций»), «Судебная экспертиза», по направлениям подготовки: «Системный анализ и управление», «Техносферная безопасность».

Факультет экономики и права осуществляет подготовку специалистов по специальностям: «Правовое обеспечение национальной безопасности», «Пожарная безопасность» (специализация «Пожарная безопасность объектов минерально-сырьевого комплекса»), «Судебная экспертиза», «Горное дело» и по направлениям подготовки «Техносферная безопасность» и «Системный анализ и управление».

Факультет подготовки кадров высшей квалификации осуществляет подготовку докторантов, адъюнктов, аспирантов по очной и заочной формам обучения.

Университет имеет представительства в городах: Выборг (Ленинградская область), Вытегра, Горячий Ключ (Краснодарский край), Мурманск, Петрозаводск, Пятигорск,

Севастополь, Стрежевой, Сыктывкар, Тюмень, Уфа; представительства университета за рубежом: г. Алма-Ата (Республика Казахстан), г. Баку (Азербайджанская Республика), г. Бар (Черногория), г. Ниш (Сербия).

Общее количество обучающихся в университете по всем специальностям, направлениям подготовки, среднему общему образованию составляет 7 057 человек. Ежегодный выпуск составляет более 1 100 специалистов.

В университете действует два диссертационных совета по защите диссертаций на соискание ученой степени доктора и кандидата наук по техническим и экономическим наукам.

Ежегодно университет проводит научно-практические конференции различного уровня: Всероссийскую научно-практическую конференцию «Сервис безопасности в России: опыт, проблемы и перспективы», Международную научно-практическую конференцию «Подготовка кадров в системе предупреждения и ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций». Совместно с Северо-Западным отделением Научного Совета РАН по горению и взрыву, Российской академией ракетных и артиллерийских наук (РАРАН), Балтийским государственным техническим университетом «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова и Российской секцией Международного института горения на базе университета проводится Международная научно-практическая конференция «Комплексная безопасность и физическая защита». Также университет принимает активное участие в организации и проведении Всероссийского форума МЧС России и общественных организаций «Общество за безопасность».

Университет ежегодно принимает участие в выставках, организованных МЧС России и другими ведомствами и организациями. Традиционно большим интересом пользуется выставочная экспозиция университета на Международном салоне средств обеспечения безопасности «Комплексная безопасность», Петербургском международном экономическом форуме, Международном форуме «Арктика: настоящее и будущее».

Международная деятельность вуза направлена на всестороннюю интеграцию университета в международное образовательное пространство. На сегодняшний момент университет имеет 18 действующих соглашений о сотрудничестве с зарубежными учебными заведениями и организациями, среди которых центры подготовки пожарных и спасателей Германии, КНР, Франции, Финляндии.

В университете обучаются иностранные курсанты из числа сотрудников Государственной противопожарной службы МЧС Кыргызской Республики и Комитета по чрезвычайным ситуациям МВД Республики Казахстан в пределах квот на основании межправительственных соглашений и постановления Правительства Российской Федерации от 7 декабря 1996 г. № 1448 «О подготовке лиц офицерского состава и специалистов для правоохранительных органов и таможенных служб государств-участников СНГ в образовательных учреждениях высшего профессионального образования Российской Федерации». В настоящее время в университете проходят обучение 30 сотрудников Комитета по чрезвычайным ситуациям МВД Республики Казахстан и 15 сотрудников МЧС Кыргызской Республики.

В соответствии с двусторонними соглашениями университет осуществляет обучение по программам повышения квалификации. Регулярно проходят обучение в университете специалисты Российско-сербского гуманитарного центра, Российско-армянского центра гуманитарного реагирования, Международной организации гражданской обороны, Министерства нефти Исламской Республики Иран, пожарно-спасательных служб Финляндии, Туниса, Республики Корея и других стран.

Преподаватели, курсанты и студенты университета имеют возможность проходить стажировку за рубежом. За последнее время стажировки для профессорско-преподавательского состава и обучающихся в университете были организованы в Германии, Сербии, Финляндии, Швеции.

В университете имеются возможности для повышения уровня знания английского языка. Организовано обучение по программе дополнительного профессионального образования «Переводчик в сфере профессиональной коммуникации» студентов, курсантов, адъюнктов и сотрудников.

Компьютерный парк университета составляет более 1 200 единиц. Для информационного обеспечения образовательной деятельности функционирует единая локальная сеть с доступом в электронную информационно-образовательную среду университета, справочно-правовую систему «КонсультантПлюс», систему «Антиплагиат». Компьютерные классы позволяют обучающимся работать в сети Интернет, с помощью которой обеспечивается выход на российские и международные информационные сайты, что позволяет значительно расширить возможности учебного, учебно-методического и научно-методического процесса.

Нарастающая сложность и комплексность современных задач заметно повышают требования к организации образовательного процесса. Сегодня университет реализует программы обучения с применением технологий дистанционного обучения.

Библиотека университета соответствует всем современным требованиям. Фонды библиотеки университета составляют более 350 700 экземпляров литературы по всем отраслям знаний. Они имеют информационное обеспечение и объединены в единую локальную сеть. Все процессы автоматизированы. Установлена библиотечная программа «Ирбис». В библиотеке осуществляется электронная книговыдача. Это дает возможность в кратчайшие сроки довести книгу до пользователя.

Читальные залы (общий и профессорский) библиотеки оснащены компьютерами с выходом в Интернет, Интранет, ИЦУКС и локальную сеть университета. Создана и функционирует Электронная библиотека, она интегрирована с электронным каталогом. В сети Интранет работает Единая ведомственная электронная библиотека МЧС России, объединяющая библиотеки системы МЧС России.

В Электронной библиотеке оцифровано 2/3 учебного и научного фонда. К электронной библиотеке подключены: Дальневосточный филиал и библиотека Арктического спасательного учебно-научного центра «Вытегра». Имеется доступ к Президентской библиотеке им. Б.Н. Ельцина. Заключены договоры с ЭБС IPRbooks и ЭБС «Лань» на пользование и просмотр учебной и научной литературы в электронном виде. Имеется 8 000 точек доступа.

В фондах библиотеки насчитывается более 150 экземпляров редких и ценных изданий. Библиотека располагает богатым фондом периодических изданий, их число составляет 8 121 экземпляр. На 2019 г., в соответствии с требованиями федерального государственного образовательного стандарта, выписано 80 наименований журналов и газет. Все поступающие периодические издания расписываются библиографом для электронных каталога и картотеки. Издания периодической печати активно используются читателями в учебной и научно-исследовательской деятельности. На базе библиотеки создана профессорская библиотека и профессорский клуб вуза.

Полиграфический центр университета оснащен современным типографским оборудованием для полноцветной печати, позволяющим обеспечивать не только заказы на печатную продукцию университета, но и единый план изготовления печатной продукции МЧС России. Университет издает 8 научных журналов, публикуются материалы ряда международных и всероссийских научных мероприятий, сборники научных трудов профессорско-преподавательского состава университета. Издания университета соответствуют требованиям законодательства Российской Федерации и включены в электронную базу Научной электронной библиотеки для определения Российского индекса научного цитирования, а также имеют международный индекс (ISSN). Научно-аналитический журнал «Проблемы управления рисками в техносфере» и электронный «Научно-аналитический журнал «Вестник Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России» включены в утвержденный решением Высшей аттестационной комиссии «Перечень рецензируемых научных журналов, в которых публикуются основные научные результаты

диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук».

Курсанты университета проходят обучение по программе первоначальной подготовки спасателей.

На базе Санкт-Петербургского университета Государственной противопожарной службы МЧС России 1 июля 2013 г. открыт Кадетский пожарно-спасательный корпус.

Кадетский пожарно-спасательный корпус осуществляет подготовку кадет по общеобразовательным программам среднего общего образования с учетом дополнительных образовательных программ. Основные особенности деятельности корпуса – интеллектуальное, культурное, физическое и духовно-нравственное развитие кадет, их адаптация к жизни в обществе, создание основы для подготовки несовершеннолетних граждан к служению Отечеству на поприще государственной гражданской, военной, правоохранительной и муниципальной службы.

В университете большое внимание уделяется спорту. Команды, состоящие из преподавателей, курсантов и слушателей, – постоянные участники различных спортивных турниров, проводимых как в России, так и за рубежом. Слушатели и курсанты университета являются членами сборных команд МЧС России по различным видам спорта.

Деятельность команды университета по пожарно-прикладному спорту (ППС) включает в себя участие в чемпионатах России среди вузов (зимний и летний), в зональных соревнованиях и чемпионате России, а также проведение бесед и консультаций, оказание практической помощи юным пожарным кадетам и спасателям при проведении тренировок по ППС.

В университете создан спортивный клуб «Невские львы», в состав которого входят команды по пожарно-прикладному и аварийно-спасательному спорту, хоккею, американскому футболу, волейболу, баскетболу, силовым единоборствам и др. В составе сборных команд университета – чемпионы и призеры мировых первенств и международных турниров.

Курсанты и слушатели имеют прекрасные возможности для повышения своего культурного уровня, развития творческих способностей в созданном в университете Институте нравственно-патриотического и эстетического развития. Творческий коллектив университета принимает активное участие в ведомственных, городских и университетских мероприятиях, направленных на эстетическое и патриотическое воспитание молодежи, а также занимает призовые места в конкурсах, проводимых на уровне университета, города и МЧС России. На каждом курсе организована работа по созданию и развитию творческих объединений по различным направлениям: студия вокала, студия танцев, клуб веселых и находчивых. Для курсантов и студентов действует студия ораторского искусства, команда технического обеспечения, духовой оркестр.

На территории учебного заведения создается музей истории Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России, в котором обучающиеся и сотрудники, а также гости университета смогут познакомиться со всеми этапами становления учебного заведения – от курсов пожарных техников до университета.

В Санкт-Петербургском университете Государственной противопожарной службы МЧС России созданы все условия для подготовки высококвалифицированных специалистов как для Государственной противопожарной службы, так и в целом для МЧС России.

---

---

# АВТОРАМ ЖУРНАЛА «ПРОБЛЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ РИСКАМИ В ТЕХНОСФЕРЕ»

---

---

Материалы, публикуемые в журнале, должны отвечать профилю журнала, обладать несомненной новизной, относиться к вопросу проблемного назначения, иметь прикладное значение и теоретическое обоснование и быть оформлены по следующим правилам:

**1. Материалы** для публикации представляются куратору журнала. Материал должен сопровождаться:

а) для **сотрудников** СПб университета ГПС МЧС России – *выпиской* из протокола заседания кафедры о целесообразности публикации и отсутствии материалов, запрещенных к публикации в открытой печати, *рецензией от члена редакционного совета* (коллегии). По желанию прилагается вторая рецензия от специалиста соответствующего профиля, имеющего ученую степень;

б) для авторов **сторонних** организаций – сопроводительным *письмом* от учреждения на имя начальника университета и *разрешением* на публикацию в открытой печати, *рецензией* от специалиста по соответствующему статье профилю, имеющему ученую степень;

в) *электронной версией* статьи, представленной в формате редактора Microsoft Word (версия не ниже 2003). Название файла должно быть следующим:

Автор1, Автор2 – Первые три слова названия статьи.doc, например: **Иванов – Анализ существующей практики.doc**;

г) *плата* с адъюнктов и аспирантов за публикацию рукописей не взимается.

**2. Статьи**, включая рисунки и подписи к ним, список литературы, должны иметь объем от 8 до 13 машинописных страниц.

**3. Оформление текста:**

а) текст материала для публикации должен быть тщательно отредактирован автором;

б) текст на одной стороне листа формата А4 набирается на компьютере (шрифт Times New Roman 14, *интервал 1,5*, без переносов, в одну колонку, *все поля по 2 см*, нумерация страниц внизу посередине);

в) на первой странице авторского материала должны быть напечатаны **на русском и английском языках**: название (прописными буквами, полужирным шрифтом, без подчеркивания); инициалы и фамилии **авторов (не более трех)**; ученая степень, ученое звание, почетное звание; место работы (название учреждения), аннотация, ключевые слова.

*Требования к аннотации.* Аннотация должна быть краткой, информативной, отражать основные положения и выводы представляемой к публикации статьи, а также включать полученные результаты, используемые методы и другие особенности работы. Примерный объем аннотации 40–70 слов.

**4. Оформление формул в тексте:**

а) формулы должны быть набраны на компьютере в редакторе формул Microsoft Word (Equation), размер шрифта эквивалентен 14 (Times New Roman);

б) в формулах рекомендуется использовать буквы латинского и греческого алфавитов (курсивом);

в) формулы печатаются по центру, номер – у правого поля страницы (нумеровать следует только формулы, упоминаемые в тексте).



## **5. Оформление рисунков и таблиц:**

а) рисунки необходимо выделять отдельным блоком для удобства переноса в тексте или вставлять из файла, выполненного в любом из общепринятых графических редакторов, под рисунком ставится: Рис. 2. и далее следуют пояснения;

б) если в тексте не одна таблица, то их следует пронумеровать (сначала пишется: Таблица 2, на той же строке название таблицы полужирно, и далее следует сама таблица);

в) если в тексте одна таблица или один рисунок, то их нумеровать не следует;

г) таблицы должны иметь «вертикальное» построение;

д) в тексте ссылки на таблицы и рисунки делаются следующим образом: рис. 2, табл. 4, если всего один рисунок или одна таблица, то слово пишется целиком: таблица, рисунок.

## **6. Оформление библиографии (списка литературы):**

а) в тексте ссылки на цитируемую литературу обозначаются порядковой цифрой в квадратных скобках;

б) список должен содержать цитируемую литературу, пронумерованную в порядке ее упоминания в тексте.

Пристатейные библиографические списки должны соответствовать ГОСТ Р 7.0.5–2008.

Примеры оформления списка литературы:

### **Литература**

1. Адорно Т.В. К логике социальных наук // Вопросы философии. 1992. № 10. С. 76–86.

2. Информационные аналитические признаки диагностики нефтепродуктов на местах чрезвычайных ситуаций / М.А. Галишев [и др.] // Жизнь и безопасность. 2004. № 3–4. С. 134–137.

3. Щетинский Е.А. Тушение лесных пожаров: пособ. для лесных пожарных. 5-е изд., перераб. и доп. М.: ВНИИЛМ, 2002.

4. Грждяну П.М., Авербух И.Ш. Вариант вероятностного метода оценки оползнеопасности территории // Современные методы прогноза оползневой процесса: сб. науч. тр. М.: Наука, 1981. С. 61–63.

5. Минаев В.А., Фаддеев А.О. Безопасность и отдых: системный взгляд на проблему рисков // Туризм и рекреация: тр. II Междунар. конф. / МГУ им. М.В. Ломоносова. М., 2007. С. 329–334.

6. Белоус Н.А. Прагматическая реализация коммуникативных стратегий в конфликтном дискурсе // Мир лингвистики и коммуникации: электрон. науч. журн. 2006. № 4. URL: [http://www.tverlingua.by.ru/archive/005/5\\_3\\_1.htm](http://www.tverlingua.by.ru/archive/005/5_3_1.htm) (дата обращения: 15.12.2007).

7. Об аварийно-спасательных службах и статусе спасателей: Федер. закон Рос. Федерации от 22 авг. 1995 г. № 151-ФЗ // Собр. законодательства Рос. Федерации. 1995. № 35. Ст. 3 503.

## **7. Оформление раздела «Сведения об авторах»**

Сведения об авторах прилагаются в конце статьи и включают: Ф.И.О. (полностью), должность, место работы с указанием адреса и его почтового индекса; номер телефона, адрес электронной почты, ученую степень, ученое звание, почетное звание.

*Статья должна быть подписана авторами и указаны контактные телефоны.*

**Внимание авторов: материалы, оформленные без соблюдения настоящих требований, будут возвращаться на доработку.**

**Редакция оставляет за собой право направлять статьи на дополнительное анонимное рецензирование.**

**МЧС РОССИИ**  
**ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский университет**  
**Государственной противопожарной службы»**

**Научно-аналитический журнал**

**Проблемы управления рисками в техносфере**  
**№ 1 (53) – 2020**

**Подписной индекс № ПА482 в электронном каталоге «Почта России»**

**Свидетельство о регистрации**  
**ПИ № ФС77-36404 от 20 мая 2009 г.**

Редактор П.А. Болотова

---

Подписано в печать 31.03.2020. Формат 60×84<sub>1/8</sub>.  
Усл.-печ. л. 17,25 Тираж 1000 экз. Зак. № 00

---

Отпечатано в Санкт-Петербургском университете ГПС МЧС России  
196105, Санкт-Петербург, Московский проспект, д. 149