

НАУЧНО-АНАЛИТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ
**ПРОБЛЕМЫ
УПРАВЛЕНИЯ РИСКАМИ
В ТЕХНОСФЕРЕ**
PROBLEMS OF TECHNOSPHERE RISK MANAGEMENT
№ 4 (48) – 2018

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 полковник внутренней службы **Шарапов Сергей Владимирович**, начальник Научно-исследовательского института перспективных исследований и научных технологий в области безопасности жизнедеятельности 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**, начальник отдела планирования, организации и координации научных исследований центра организации научно-исследовательской и редакционной деятельности 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 – начальник института заочного и дистанционного обучения Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России;

кандидат технических наук, доцент полковник внутренней службы **Пелех Михаил Теодозиевич**, заместитель начальника университета по учебной работе 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 интегрированных маркетинговых коммуникаций 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

Астанков А.М., Шифф В.К., Вагин А.В. Повышение безопасности работы насосных агрегатов заправочного оборудования стартовых комплексов	6
Воронин С.В., Скрипник И.Л., Кадочникова Е.Н. Анализ снижения пожарной опасности резервуарных парков	15
Троянов О.М., Рева Ю.В., Рыбин О.А. Обеспечение мероприятий безопасности при ремонтных работах на техногенных объектах	20
Терехин С.Н., Николаев Д.В., Юсеров К.С. Обеспечение работ подразделений пожарной охраны по тушению пожаров в метрополитене средствами тепловидения	25

ПОЖАРНАЯ И ПРОМЫШЛЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

Ивахнюк Г.К., Столяров С.О. Физико-химическое моделирование рецептур высокоэффективных огнезащитных покрытий	34
Хрунов Д.Е., Шангин В.Н. Использование чек-листов в обеспечении пожарной безопасности	40
Шаравин Е.О., Цыганков В.Д., Бельшина Ю.Н. Применение ANSYS FLUENT для расчета параметров распространения ударной волны в узлах сопряжений горных выработок ..	48
Актерский Ю.Е., Тихонов Ю.М., Джафаров Э.А. Снижение пожарной опасности строительных конструкций на основе использования огнезащитных средств с новой композицией вспучивающихся минералов	55
Таранцев А.А., Шидловский А.Л., Марасанова К.Н. Методические подходы к пожаротушению и защите пористых горючих материалов на транспорте	59

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

Брушлинский Н.Н., Присяжнюк Н.Л., Байгалмаа Э. Показатель верхнего и нижнего предельного уровня индивидуального пожарного риска для Монголии	66
Квашнин А.В., Кошкарров Р.В., Бабич М.Е. Прогнозирование рисков возникновения пожаров при аварийных разливах нефтепродуктов	76

ПОЖАРНАЯ ТАКТИКА, ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПРОЦЕССОВ ГОРЕНИЯ И ТУШЕНИЯ

Можаев А.Г., Печурин А.А., Рыбин О.А. Исследование влияния динамики встраиваемого оборудования на устойчивость движения наземных робототехнических средств	83
Ивахнюк Г.К., Анашечкин А.Д., Копосов А.С. Оценка огнетушащей эффективности модифицированных водосодержащих составов	92

ЭКОНОМИКА, СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

Седнев В.А., Седнев А.В. Научно-методический подход оценки структуры экономики региона (страны) и обоснования путей повышения ее устойчивости и эффективности развития	99
--	----

ГОРНОСПАСАТЕЛЬНОЕ ДЕЛО. ОХРАНА ТРУДА

Тужиков Е.Н., Хрулев В.В., Безнедельный С.В. К вопросу о состоянии охраны труда, прогнозировании гибели и травматизма среди личного состава МЧС России	109
--	-----

Сведения об авторах	116
---------------------------	-----

Информационная справка.	119
Авторам журнала «Проблемы управления рисками в техносфере».	124

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. Официальный интернет-сайт Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России: WWW.IGPS.RU

ISSN 1998-8990

БЕЗОПАСНОСТЬ КРИТИЧЕСКИ ВАЖНЫХ И ПОТЕНЦИАЛЬНО ОПАСНЫХ ОБЪЕКТОВ

ПОВЫШЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ РАБОТЫ НАСОСНЫХ АГРЕГАТОВ ЗАПРАВОЧНОГО ОБОРУДОВАНИЯ СТАРТОВЫХ КОМПЛЕКСОВ

А.М. Астанков;

В.К. Шифф, кандидат физико-математических наук.

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

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

Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России

Представлены результаты оценки радиальной жесткости шарикоподшипников, позволяющие моделировать вибрации насосных агрегатов заправочного оборудования, безопасная эксплуатация которых является важнейшим фактором подготовки старта ракет космического назначения.

Ключевые слова: вибрации насосных агрегатов, жесткость подшипникового узла, безопасная эксплуатация технологического оборудования

IMPROVING THE SAFETY OF WORK OF PUMP UNITS OF THE FILLING EQUIPMENT OF THE STARTING COMPLEX

A.M. Astankov; V.K. Shiff. Alexander Mozhaisky military space academy.

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

The results of the assessment of the radial rigidity of ball bearings are presented, which allow simulating the vibrations of pumping units of filling equipment, the safe operation of which is the most important factor in preparing the launch of space rockets.

Keywords: vibrations of pumping units, rigidity of a bearing unit, safe operation of process equipment

Безопасная эксплуатация технологического оборудования (ТО) стартовых комплексов (СК) является важнейшим фактором подготовки ракет космического назначения (РКН). Наиболее критичным оборудованием в отношении безопасности являются насосные агрегаты (НА) системы заправки РКН компонентами топлив.

Для НА основными источниками диагностической информации, характеризующими их текущее техническое состояние, являются сигналы вибрации. Это обусловлено тем, что вибрация, являясь следствием взаимодействия различных сил в НА, несет в себе суммарную информацию о состоянии как его отдельных кинематических узлов и деталей, так и всего агрегата в целом.

Из статистических наблюдений следует, что основная доля отказов НА приходится на подшипники [1].

Следует отметить, что особенности конструкции и условия эксплуатации (области применения) НА влияют на распределение причин повреждения подшипников (рис. 1).

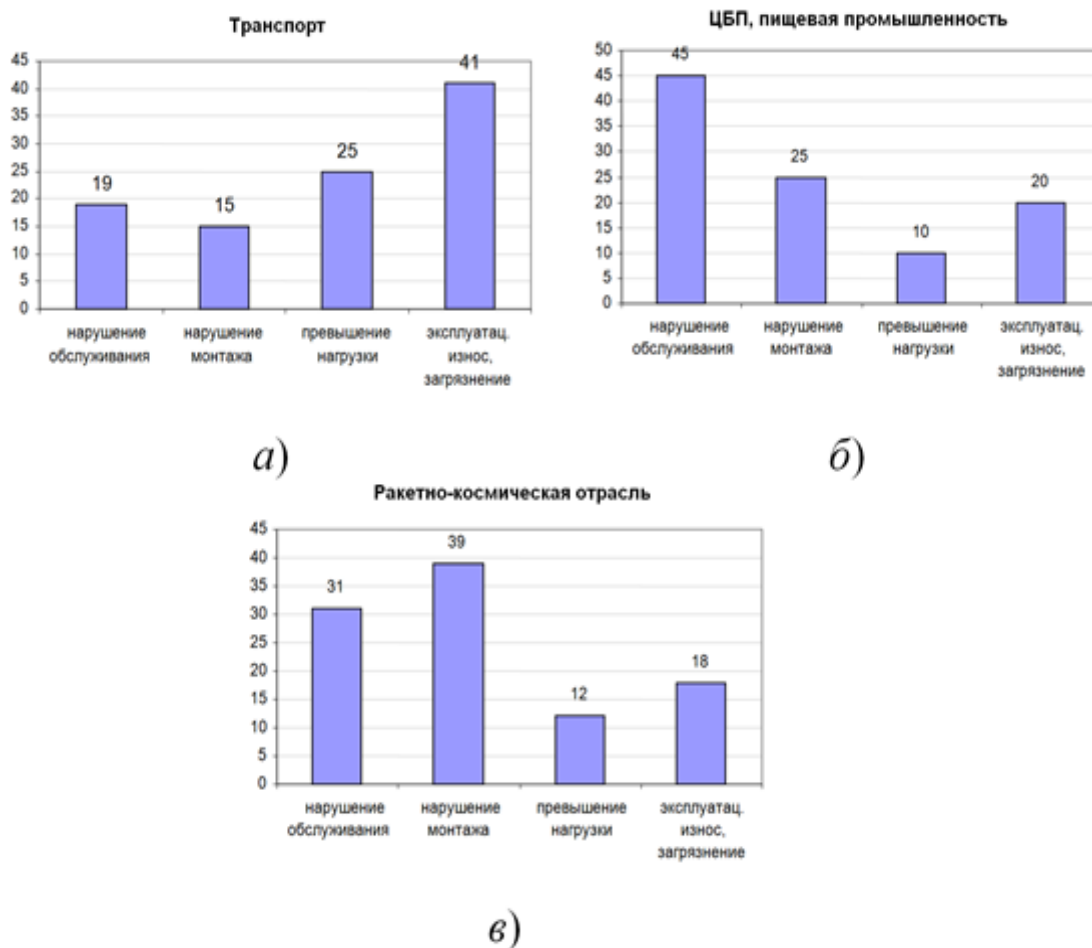


Рис. 1. Причины повреждения подшипников

На транспорте и энергетике основной причиной выхода из строя является усталость [2], проявляющаяся в виде дефектов износа (износ контактных поверхностей подшипника, локальные дефекты). В целлюлозно-бумажной и пищевой промышленности – загрязнение смазки, вызывающее ускоренный износ поверхностей подшипника. В ракетно-космической отрасли, где большая часть роторного оборудования эксплуатируется периодически и кратковременно, основная часть дефектов подшипников связана с нарушениями сборки, установки и смазки (монтажные конструктивные дефекты, связанные с нарушениями исходной геометрии контактных поверхностей подшипника).

Поэтому наиболее критичной группой дефектов для подшипниковых узлов НА является группа конструктивных дефектов, связанная с нарушениями правильности монтажа подшипников качения при проведении технического обслуживания или ремонтных работ.

В центробежных НА заправочного оборудования (ЗО) СК подшипниковые узлы являются важнейшими структурными элементами и составляют основную часть узлов трения. В конструкциях данных НА применяют, как правило, подшипники качения, чаще всего, радиально-упорные шариковые, как например, в НА модели ЦН112М из состава ЗО СК.

Элементы подшипникового узла образуют механическую систему (рис. 2).

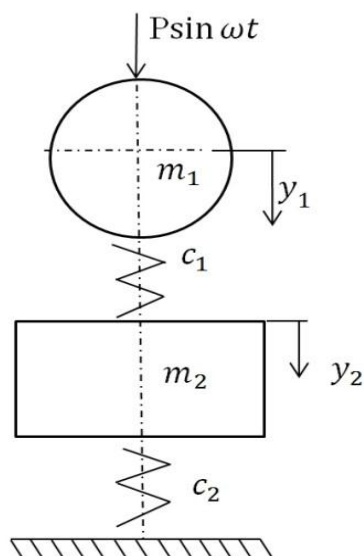


Рис. 2. Расчетная схема подшипникового узла

В систему входят: вращающийся вал, являющийся источником полигармонической вибрации; подшипник качения – элемент, обладающий упругими свойствами и передающий вибрационные возмущения на корпус механизма; опора, предназначенная для фиксации положения вала. На этой схеме вал в сборе массой m_1 , вращающийся с частотой ω , нагружен периодической силой $P_0 \sin \omega t$. Вал устанавливается на подшипнике качения с жесткостью c_1 на опоре массой m_2 с жесткостью c_2 .

Математическая модель механических колебаний, описываемая системой обыкновенных дифференциальных уравнений, позволяет оценивать параметры вибрации НА:

$$\begin{cases} m_1 y_1'' + c_1 (y_1 - y_2) = P_0 \sin \omega t \\ m_2 y_2'' + c_1 (y_2 - y_1) = 0 \end{cases}.$$

Жесткость подшипникового узла рассматривается в качестве диагностического параметра и определяется в основном жесткостью самого подшипника (его конструкции); величинами радиального зазора, осевой игры или предварительного натяга. Точный расчет жесткости радиально-упорных подшипников – трудноразрешимая математическая задача. Поэтому в данной работе рассматривается приближенная оценка радиальной жесткости подшипника.

В подшипниковом узле НА используется радиально-упорный шарикоподшипник типа 46220 [3]. Для геометрических параметров подшипника приняты следующие обозначения: $r_{B(H)}$ – радиус кривизны поперечного сечения желоба: b – внутреннее кольцо, n – наружное кольцо; $D_1(d_1)$ – диаметр по дну желоба наружного (внутреннего) кольца; D_w – диаметр тела качения; $\alpha_{B(H)}$ – угол контакта, положительное направление отсчета которого от вертикали против хода часовой стрелки (рис. 3.) $\alpha_m < 0$; D – наружный диаметр подшипника; d – диаметр отверстия подшипника; z – число тел качения. Геометрические параметры подшипника типа 46220 представлены в таблице.

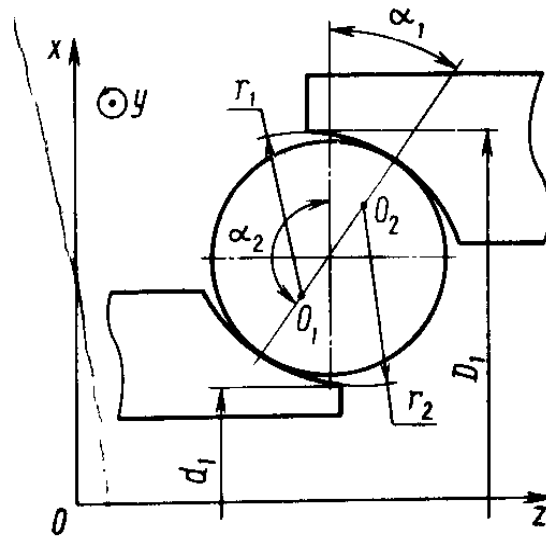


Рис. 3. Сечение подшипника плоскостью Oxy
(ось Oz направлена вдоль оси симметрии колец)

По этим данным определяют диаметр окружности центров шариков $d_w = 0,5(D+d)$ и высоту «живого сечения» $H = 0,5(D-d)$. Диаметры по дну желобов (без учета радиального зазора) $D_1 = d_w + D_w$, $d_1 = d_w - D_w$.

Радиусы желобов наружного R_H и внутреннего R_B колец обычно принимаются $0,515 D_w$. У подшипников, предназначенных для работы с частотами вращения, превышающими предельное каталожное значение, радиусы желобов увеличивают до $R_H = R_B = 0,54 D_w$.

Таблица. Геометрические параметры подшипника типа 46220

Тип подшипника	d , мм	D , мм	Z , шт	D_w , мм	d_w , мм	D_1 , мм	d_1 , мм	α_0 , град.
46220	100	180	15	25,44	140	165,44	114,56	26

Согласно контактной теории Герца-Беляева [4] сближение колец и шариков в радиально-упорных шарикоподшипниках определяется по формуле:

$$\delta_{B(H)} = 1,5 \left(\frac{2K}{\pi\mu} \right)_{B(H)} \sqrt[3]{\frac{1}{3} \left[\frac{1}{2} \left(\frac{1-\varepsilon_1^2}{E_1} + \frac{1-\varepsilon_2^2}{E_2} \right) P \right]^2 \sum \rho_{B(H)}}, \quad (1)$$

где P – давление на шарик; E и μ – модуль упругости и коэффициент Пуассона соответственно для двух контактирующих тел качения; $\left(\frac{2K}{\pi\mu} \right)_{B(H)}$ – табличные величины, зависящие от параметров $\cos \tau_{B(H)}$, равных:

$$\cos \tau_{B(H)} = \frac{\pm \frac{1}{R_{B(H)}} + \frac{1}{r_{B(H)}}}{\sum \rho_{B(H)}}, \quad (2)$$

причем $\Sigma \rho_{B(H)}$ – сумма главных кривизн соприкасающихся тел в начальной точке касания, см^{-1} и равняется:

$$\Sigma \rho_{B(H)} = \frac{4}{Dw} \pm \frac{1}{R_{B(H)}} - \frac{1}{r_{B(H)}}, \quad (3)$$

где r_B и r_H – радиусы желобов соответственно внутреннего и наружного колец; $\frac{1}{R_B}$ и $\frac{1}{R_H}$ – главные кривизны в плоскостях, перпендикулярных к поверхностям контакта. Для них будем иметь:

$$\left. \begin{aligned} \frac{1}{R_B} &= \frac{2\cos\alpha}{d_1 + 2r_B(1 - \cos\alpha)} \\ \frac{1}{R_H} &= \frac{2\cos\alpha}{D_1 - 2r_H(1 - \cos\alpha)} \end{aligned} \right\},$$

где d_1 и D_1 – диаметры желобов соответственно внутреннего и наружного колец; α – угол контакта.

Введя обозначения:

$$\left. \begin{aligned} T_B &= d_1 + 2r_B, T_H = D_1 + 2r_H, \\ \zeta_B &= \frac{r_B}{Dw}, \zeta_H = \frac{r_H}{Dw} \end{aligned} \right\},$$

$\zeta_{B(H)}$ – развал дорожки качения на внутреннем (наружном) кольце вместо формул (1–3) получим:

$$\begin{aligned} \cos \tau_{B(H)} &= \frac{\frac{T_{B(H)}}{Dw \cdot \cos\alpha}}{4\zeta_{B(H)} \left[\frac{T_{B(H)}}{Dw \cdot \cos\alpha} \pm (2\zeta_{B(H)} - 1) \right] - \frac{T_{B(H)}}{Dw \cdot \cos\alpha}}, \\ \Sigma \rho_{B(H)} &= \frac{2}{Dw} \cdot \frac{4\zeta_{B(H)} \left[\frac{T_{B(H)}}{Dw \cdot \cos\alpha} \mp (2\zeta_{B(H)} - 1) \right] - \frac{T_{B(H)}}{Dw \cdot \cos\alpha}}{2\zeta_{B(H)} \left(\frac{T_{B(H)}}{Dw \cdot \cos\alpha} \mp 2\zeta_{B(H)} \right)}, \end{aligned}$$

$$\delta_{B(H)} = C_{B(H)} \sqrt[3]{\left(\frac{P}{d_{\text{ш}}^2} \right)^2 \cdot Dw}, \text{ ММ.}$$

где

$$C_{B(H)} = 1,5 \cdot 10^4 \left(\frac{2K}{\pi\mu} \right)_{B(H)} \sqrt[3]{\frac{1}{3} \left(\frac{1-\mu^2}{E} \right)^2 Dw \sum \rho_{B(H)}}. \quad (4)$$

Приняв в последней формуле модуль упругости $E=2,12 \cdot 10^6$ кгс/см² и коэффициент Пуассона $\mu=0,3$, соответствующие часто используемой в машиностроении легированной стали, получим:

$$C_{B(H)} = 0,592 \left(\frac{2K}{\pi\mu} \right)_{B(H)} \sqrt[3]{Dw \sum \rho_{B(H)}} \cdot \frac{\text{см}^{4/3}}{\text{кгс}^{2/3}}.$$

Таким образом, коэффициенты $C_{B(H)}$ оказались зависимыми от двух безразмерных параметров $\frac{T_{B(H)}}{Dw \cdot \cos \alpha}$ и $\zeta_{B(H)}$.

В таблице 1.2 [4] приведены величины $C_{B(H)}$ для различных значений параметров, охватывающих всю номенклатуру радиально-упорных подшипников.

Обозначим суммарное сближение колец с шариками через δ , тогда:

$$\delta = \delta_B + \delta_H,$$

где δ_B и δ_H – соответственно сближение шарика с наружным и внутренним кольцом.

На основании формулы (4) получим:

$$\delta = (C_B + C_H) \sqrt[3]{\left(\frac{P}{D_w^2} \right)^2 \cdot D_w} \quad \text{МКМ}.$$

Здесь и в дальнейшем нагрузка P берется в кгс, а диаметр шарика D_w – в см. Последнее выражение может быть также представлено в виде:

$$P = C \delta^{3/2},$$

где

$$C = \sqrt{\frac{Dw}{(C_B + C_H)^3}} \cdot \frac{\text{кг}}{\text{МКМ}^{3/2}}.$$

Для размеров полуосей $a_{B(H)}$ и $b_{B(H)}$ – эллиптических поверхностей соприкасания шариков соответственно с внутренними и наружными кольцами будем иметь:

$$\left. \begin{aligned} a_{B(H)} &= \mu_{B(H)} \sqrt[3]{\frac{3(1-\mu^2)}{E \sum \rho_{B(H)}} P} \\ b_{B(H)} &= \mu_{B(H)} \sqrt[3]{\frac{3(1-\mu^2)}{E \sum \rho_{B(H)}} P} \end{aligned} \right\}.$$

Давление $\rho_{B(H)}$ в центре соответствующей поверхности равно:

$$\rho_{B(H)} = \frac{1,5}{\pi \nu_{B(H)}} \sqrt[3]{P \left[\frac{\sum \rho_{B(H)}}{3(1-\nu^2)} \right]^2}.$$

Пусть P_i – нагрузка на i шарик, расположенный в нагруженной зоне под углом $i\gamma$, отсчитываемым от направления внешней нагрузки, при этом $\gamma=360^\circ/z$ – угловое расстояние между двумя смежными шариками, z – общее число шариков нагрузки (рис. 4).

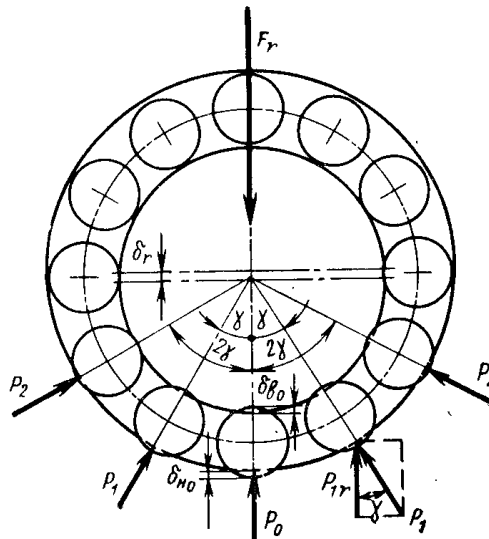


Рис. 4. Распределение радиальной нагрузки в радиальном направлении в шарикоподшипнике с нулевым зазором

Условие равновесия внутреннего кольца, нагруженного радиальной нагрузкой F_r и реакциями P_i со стороны несущих шариков, имеет вид:

$$F_r = P_0 + 2 \sum_{i=1}^n P_i \cos i\gamma, \quad (5)$$

где

$$n\gamma \leq \frac{\pi}{2},$$

полагая $i=0$ в формуле Герца:

$$P_i = C_\delta \delta_i^{3/2}, \quad (6)$$

имеем

$$P_0 = C_\delta \delta_0^{3/2}, \quad (7)$$

а разделив почленно правые и левые части равенств (6, 7), получим:

$$\frac{P_i}{P_0} = \left(\frac{\delta_i}{\delta_0} \right)^{3/2}, \quad (8)$$

где δ_i – сумма деформаций в местах контакта i -го шарика с кольцами.

Так как изгибом обычно пренебрегают, то сумму деформаций можно выразить через наибольшую из них δ_0 следующим образом:

$$\delta_i = \delta_0 \cos i\gamma.$$

Введя эту замену в равенство (8), получим:

$$P_i = P_0 \cos^{3/2} i\gamma. \quad (9)$$

Тогда, подставив (9) в равенство (5), получим зависимость реакции 0-го шарика P_0 от радиальной нагрузки F_r :

$$F_r = P_0 + 2P_0 \sum_{i=1}^n \cos^{5/2} i\gamma = P_0 \left(1 + 2 \sum_{i=1}^n \cos^{5/2} i\gamma \right),$$

или

$$P_0 = k \frac{F_r}{z}, \quad (10)$$

где

$$k = \frac{z}{1 + 2 \sum_{i=1}^n \cos^{5/2} i\gamma}.$$

При увеличении числа шариков коэффициент k стремится к постоянному значению, равному 4,37 [4].

Наибольшее сближение δ_r связано с нагрузкой P_0 зависимостью:

$$P_0 = C_\delta \delta_r^{3/2},$$

исходя из которой с учетом равенства (10) получим:

$$\delta_r = \left(k \frac{F_r}{z C_\delta} \right)^{2/3}.$$

Радиальная жесткость подшипника C_r равна первой производной от радиальной нагрузки по сближению:

$$C_r = \frac{dF_r}{d\delta_r},$$

радиальная сила определяется весом вала НА ЦН112М, равная 24 кг.

Дифференцируя равенство (5) по δ , получаем:

$$C_r = \frac{3}{2} \left(\frac{z}{k} C_\delta \right)^{2/3} F_r^{1/3} = 1,5 \cdot 10^6 \left(\frac{15}{4,37} 1,876 \right)^{\frac{2}{3}} F_r^{\frac{1}{3}}, \text{ кгс/см.}$$

$$C_r = 3,23 \cdot 10^7, \frac{\text{Н}}{\text{см}}.$$

Представленная приближенная оценка радиальной жесткости радиально-упорного шарикоподшипника получена впервые и позволяет моделировать вибрации НА и описывать механизмы ее возбуждения в НА.

Литература

1. Современные средства и методы вибрационной диагностики машин и конструкций / Ф.Я. Балицкий [и др.]. М.: МЦНТИ, 1990. 114 с.
2. Неразрушающий контроль: справ.: в 8-ми т. / под общ. ред. В.В. Клюева М.: Машиностроение, 2006.
3. Леликов О.П. Подшипники качения. Справочник-каталог. М.: Инновационное машиностроение, 2017. 672 с.
4. Ковалев М.П., Народецкий М.З. Расчет высокоточных шарикоподшипников. М.: Машиностроение, 1975. 280 с.
5. Астанков А.М., Спесивцев А.В., Вагин А.В. Снижение рисков возникновения опасных последствий при эксплуатации насосных агрегатов заправочного оборудования ракетно-космических комплексов // Проблемы управления рисками в техносфере. 2016. № 1 (37). С. 6–14.

АНАЛИЗ СНИЖЕНИЯ ПОЖАРНОЙ ОПАСНОСТИ РЕЗЕРВУАРНЫХ ПАРКОВ

**С.В. Воронин, кандидат технических наук, доцент;
И.Л. Скрипник, кандидат технических наук, доцент;
Е.Н. Кадочникова, кандидат технических наук.
Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России**

Представлен анализ пожаров, произошедших в резервуарных парках, технические решения, направленные на снижение пожарной опасности. Предложены основные направления повышения пожарной безопасности с применением робототехнических систем.

Ключевые слова: резервуарный парк, пожар, пожарная техника, робототехнические средства

ANALYSIS OF DECREASE IN FIRE DANGER OF RESERVOIR PARKS

S.V. Voronin; I.L. Skrypnyk; E.N. Kadochnikova.
Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia

The analysis of the fires which have happened in reservoir parks, the technical solutions directed to decrease in fire danger is presented in article. The main directions of increase in fire safety with use of robotic systems are offered.

Keywords: reservoir park, fire, firefighting equipment, robotic means

В настоящее время нефтедобывающая отрасль занимает одно из важнейших мест в экономике Российской Федерации. Предприятия данной отрасли являются объектами повышенной пожарной опасности, но, несмотря на это, для обеспечения прибыльности необходимо дальнейшее увеличение объемов резервуарных парков (РП). Хотя некоторые виды российского оборудования по своим параметрам не уступают мировым образцам, значительная часть его стоит намного дороже. В то же время техническое обслуживание и ремонт российского оборудования в сложных природно-климатических условиях становится намного дешевле и связан с меньшими техническими сложностями, чем ремонт импортных изделий.

Наиболее простым и экономически выгодным способом реализации государственных интересов Российской Федерации в нефтеперерабатывающей отрасли является повышение вместимости одиночных резервуаров, сокращение противопожарных разрывов для минимизации площади РП и уменьшения производственных затрат. Однако возникновение пожара в одном резервуаре может привести к перекидыванию его на соседние, рядом находящиеся резервуары, особенно при полной их разгерметизации, и распространению пожара на весь РП в целом, близлежащие территории и населенные пункты в селитебной зоне.

Вопросы обеспечения пожарной безопасности РП в последнее время приобретают актуальное значение. Стоимость находящихся в них нефтепродуктов на нефтебазах увеличилась почти в семь раз, поэтому возникновение пожара приведет к большому материальному ущербу. По данным статистики ежегодно в России происходит пять-семь пожаров в РП.

Применение современных конструкций технологического оборудования, увеличение его комплексных характеристик надежности – работоспособности, ремонтпригодности, долговечности и сохраняемости, частичная или полная автоматизация производственных операций, использование автоматических систем обнаружения, оповещения и тушения

пожаров способствуют уменьшению пожарной опасности. Но, обладая высокими характеристиками пожарной опасности, нефтепродукты служат причиной появления пожара при чрезвычайных ситуациях (ЧС).

Концентрация больших количеств пожаровзрывоопасных материалов, высоких скоростей распространения пожара на сравнительно небольшой территории нефтедобывающего и нефтеперерабатывающего предприятия может служить причиной возникновения масштабных пожаров и взрывов с катастрофическими последствиями, приводящими к многочисленным человеческим жертвам, значительному экономическому ущербу, загрязнению окружающей среды.

По данным Ростехнадзора, за прошедшие десять лет в нефтегазовом комплексе произошло более тысячи аварий и четырехсот смертельных случаев. Это одни из самых сложных пожаров, представляющие опасность для обслуживающего персонала, элементов промышленного комплекса. Опасность таких пожаров характеризуется возможностью растекания жидкостей на значительные площади с большой скоростью распространения пламени, сопровождающееся мощным тепловым излучением в окружающую среду и факельным горением.

Анализ аварий на объектах нефтехимической, нефтеперерабатывающей промышленности и объектах нефтепродуктообеспечения за период с 2012 по 2018 гг. показал, что нефтеперерабатывающая отрасль занимает лидирующие позиции по несчастным случаям со смертельным исходом – 31 случай (60,8 %) и авариям – 49 аварий (54,4 %). За указанный период произошло 90 опасных событий, материальный ущерб составил практически 4 млрд руб.

Так, 27 декабря 2017 г. в г. Кстове на нефтеперерабатывающем заводе «ЛУКОЙЛ-Нижегороднефтеоргсинтез» произошел крупный пожар (рисунок).



Рис. Пожар на Кстовском нефтеперерабатывающем заводе

Возгорание произошло на товарно-сырьевой базе, которая включает в себя несколько резервуаров для хранения произведенного на заводе бензина. Загорелся один из них – объемом 10 тыс. кубометров, который сотрудники готовили к плановому ремонту. В резервуаре были остатки топлива. Площадь пожара составила 900 кв. м, погибли четверо рабочих. Всего в тушении принимали участие 237 человек и 50 единиц техники. Причиной пожара в ЛУКОЙЛе называют нарушение правил промышленной безопасности при подготовке к ремонту резервуара.

Пожары в РП носят сложный характер, требуют значительного числа сил и средств для их тушения.

Анализ статистических данных аварий, произошедших на нефтеперерабатывающих комплексах, показывает, что наиболее распространенной аварией является разгерметизация технологического оборудования – резервуаров, трубопроводов. Для уменьшения последствий аварийных ситуаций на каждый опасный производственный объект разрабатывается декларация промышленной безопасности, включающая в себя следующие этапы:

- анализ аварий, произошедших на аналогичных предприятиях;
- расчет энергетического потенциала и определение наиболее опасного блока;
- расчет избыточного давления взрыва, характеристик теплового излучения пожара – пролив и пожара – вспышка;
- построение дерева отказов и дерева событий;
- расчет индивидуального, коллективного и социального рисков;
- построение ситуационных планов наиболее вероятной и наиболее опасной аварий;
- разработка комплекса организационных и технических мероприятий по снижению риска аварий (взрывов) и пожаров.

Основной целью при пожарах в РП является сохранение здоровья обслуживающего персонала и уменьшение материального ущерба.

Поэтому в РП должны применяться надежные средства защиты от пожаров, разработка которых осуществляется по следующим направлениям [1, 2]:

1. Разрабатываются и модернизируются автоматические средства противопожарной защиты в РП, которые производятся совместно с развитием нефтегазовой отрасли. Совершенствуется пожарная техника, улучшаются ее тактико-технические характеристики (установка комбинированного тушения пожаров «Пурга», установка мобильной системы импульсного пожаротушения «Ветлуга», устройство аэрозольного пожаротушения «Тайфун-1», генератор огнетушащего аэрозоля «Пурга»). В настоящее время используется мобильная установка с твердым гранулированным диоксидом углерода.

Разработано устройство оперативной врезки для выполнения отверстий в технологических коммуникациях (трубопроводах, линиях размывки донных отложений), расположенных в нижней части резервуара, и подачи огнетушащей воздушно-механической пены низкой кратности в горячий нефтепродукт.

2. Проводятся работы по:

- разработке новых огнетушащих веществ и материалов (водный состав депрессант «Аpres»);
- применению комбинированных огнетушащих составов на основе пены низкой, средней кратности и газовых составов (жидкий хладон); химически активного фреона и огнетушащего порошка, которому присущ эффект воздействия на очаг пламени в виде огнепреграждения, образующего объемную сетку над поверхностью горящего нефтепродукта;
- получению нового комбинированного способа пожаротушения пеной низкой, средней и высокой кратности, полученной на основе одного огнетушащего пенообразующего состава «Мультипена» и освоение в производстве, на базе единой технологии создания пен, пленкообразующих фторсинтетических пенообразователей типа «Подслойный»;
- тушению пламени легковоспламеняющихся (ЛВЖ) и горючих жидкостей (ГЖ) тонкораспыленной водой высокой степени дисперсности; пенами, полученными на базе углеводородных и фторированных пенообразователей;
- созданию установки тепловой защиты распыленными гидрогелями в качестве охлаждающего и теплоизолирующего вещества.

3. Учеными предложены новые технические решения и изготовлены:

- конструкции защитной стены с отбойным козырьком для защиты от гидродинамической волны. Такое предложенное защитное сооружение позволяет максимально приблизить к минимуму последствия гидродинамической аварии;

– установки, находящейся за обвалованием для ликвидации пожара внутри резервуара, заключающееся в уменьшении процентного содержания кислорода путем быстрой закачки в воздушное пространство резервуара углекислого (азотосодержащего) или негорючего газа;

– установки автоматической системы, расположенные по периметру резервуара в виде короба из стальных или бетонных столбов, соединенных между собой. Верхние грани короба оборудованы хранилищами с пеной, которые составляют изолирующую поверхность в аварийной ситуации, находящиеся выше верхней образующей конструкции резервуара. В качестве изолирующего материала можно применять ткани с соответствующими степенями термостойкости и прочности. Таким образом, осуществляется изоляция поврежденного резервуара от исправных.

4. РП предлагается снабжать вспомогательной гидравлической системой. На конструкциях применять современные типы огнепреградителей.

5. Одним из наиболее эффективных способов уменьшения пожарной опасности на вертикальных стальных резервуарах является последовательная откачка горючих нефтепродуктов через технологические трубопроводы.

Откачку можно производить в магистральный нефтепродуктопровод. Из нефтепродуктопроводов возможна дальнейшая перекачка в свободные резервуары нефтеперекачивающих станций, резервуары РП, танкеры, предназначенные для транспортировки нефтепродуктов.

6. Снижение пожарной опасности насосных станций при пожаре ЛВЖ и ГЖ достигается применением устройств самотушения, состоящих из конструктивных приемов, нарушающих синергизм пламени и уменьшающих концентрацию кислорода в зоне горения. Это достигается в плоских газовых слоях.

7. Уменьшение коррозионного воздействия на РП возможно вследствие применения электрофизического метода, заключающегося в подаче переменного частотно-модулированного потенциала на резервуар. Электрохимический способ, основанный на использовании постоянного электрического тока, также предназначен для катодной защиты основания резервуара от коррозии.

8. Для оперативной оценки коррозионной активности веществ, применяемых в РП (резервуары, трубопроводы, соединительная арматура), используется прогрессивный метод «Сканирующей зондовой микроскопии», основанный на визуальной и качественной оценке осажденных продуктов коррозии с очень высокой точностью до 10 Нм по рельефу поверхности образца. Данный метод позволит снизить опасные воздействия коррозионных процессов, спрогнозировать поведение различных конструктивных материалов в агрессивных средах.

9. Совершенствуется система тушения пожаров в РП с помощью стационарных средств на основе применения роботизированных лафетных стволов.

Вместе с тем улучшение рассмотренных возможностей практически исчерпано. Это также обусловлено присутствием в ликвидации аварийных ситуаций конкретного человека, которого надо обезопасить от пожара, не вызывая побочных факторов для управления техникой, руководителя тушения пожара и пожарных в условиях быстро меняющейся обстановки.

Указанные обстоятельства требуют новых подходов к тактике тушения пожаров объектов нефтедобывающей и нефтеперерабатывающей отраслей.

Существующая современная стратегия развития робототехнических систем (РС) предполагает совместное их использование с пожарной техникой.

Робототехнические комплексы при ликвидации последствий аварий используются для реализации задач проведения [2]:

- 1) разведки опасных зон;
- 2) локализации ЧС;
- 3) аварийных работ;

4) очистки территории опасных зон.

На сегодняшний день существуют эффективные примеры применения робототехнических комплексов. Например, при выполнении операций в историческом центре г. Пальмира в Сирии. Для увеличения безопасности использовались новейшие средства защиты, современные системы поиска взрывоопасных предметов, беспилотные летательные аппараты, мобильные робототехнические комплексы, которые очень успешно зарекомендовали себя.

Создание РС и их совместное использование с аварийно-спасательным оборудованием говорит о значимости выбранного направления для тушения пожаров, в частности в РП, с использованием робототехнических средств. Это говорит о том, что тушение пожаров в РП на данном этапе развития имеет важное, актуальное, перспективное значение.

В Указе Президента Российской Федерации «Об утверждении Основ государственной политики Российской Федерации в области пожарной безопасности на период до 2030 года» указывается, что в целях обеспечения пожарной безопасности должна проводиться разработка и внедрение современных средств и технологий обеспечения пожарной безопасности, а также координация осуществления основных научных исследований и разработок.

Поэтому можно выделить ряд задач, решение которых способствовало бы повышению пожарной безопасности в РП:

- исследование способов локализации и ликвидации пожаров на резервуарах при использовании РС;
- подготовка алгоритмов и моделей поддержки принятия решений по тушению пожаров в РП на основе использования РС;
- подготовка компьютерного программного продукта для дистанционного управления РС;
- подготовка способов тушения пожаров в РП с применением подвижных РС и технологий термовизуального контроля;
- оценка эффективности применения РС при ликвидации ЧС;
- расчет количества необходимых РС для нужд Государственной противопожарной службы.

Перспективным направлением проведения исследований является перевооружение аварийно-спасательной техники на главных и опасных местах по тушению пожаров специализированными подвижными РС.

Применение дистанционно-управляемых мобильных РС позволит снизить количество используемых человеческих, материальных ресурсов, экономические затраты и экологический вред.

Внедрение современных технологий пожарной безопасности позволит автоматизировать технологический процесс пожаротушения, локализуя и ликвидируя аварийную ситуацию до прибытия пожарных бригад в первые минуты возникновения пожара, и при устранении ЧС во время пожара минимизировать и исключить риски угроз человеческим жизням, экологии и материального ущерба.

Литература

1. Научно-методические основы управления электростатическими свойствами жидких углеводородов для обеспечения пожарной безопасности предприятий нефтегазового комплекса / А.В. Иванов [и др.] // Вестник Уральского ин-та ГПС МЧС России. 2018. № 2 (19). С. 98–109.
2. Андрюшкин А.Ю., Скрипник И.Л., Кадочникова Е.Н. Способ повышения безопасности использования корпусных деталей нефтеперерабатывающего оборудования // Науч.-аналит. журн. «Вестник С.-Петерб. ун-та ГПС МЧС России». 2017. № 2. С. 28–33.
3. Нейросетевое моделирование условий обеспечения электростатической искробезопасности процессов транспортировки модифицированных углеводородных жидкостей на основе экспериментальных данных / А.Ю. Сорокин [и др.] // Вестник Уральского ин-та ГПС МЧС России. 2018. № 1 (18). С. 63–76.

ОБЕСПЕЧЕНИЕ МЕРОПРИЯТИЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ РЕМОНТНЫХ РАБОТАХ НА ТЕХНОГЕННЫХ ОБЪЕКТАХ

О.М. Троянов, кандидат военных наук, доцент;

Ю.В. Рева, кандидат военных наук;

О.А. Рыбин, доктор технических наук.

Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России

Рассмотрены вопросы, связанные с обеспечением основных мер безопасности при проведении ремонтных работ на системах, корпусах и устройствах объектов техногенного характера. Изложен комплекс мероприятий, обеспечивающий безопасные условия работ с электроинструментом, пневмоинструментом, электросварочных работах, а также при работах в цистернах и использовании баллонов с газом.

Ключевые слова: техногенные объекты, ремонтные работы, корпусные конструкции, защитные средства, электросварочные работы

ENSURE SAFETY MEASURES DURING MAINTENANCE OF MAN-MADE OBJECTS

O.M. Troyanov; Yu.V. Reva; O.A. Rybin.

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

The is devoted to the consideration of issues related to the provision of basic safety measures during repair work on systems, buildings and devices of man-made objects. A set of measures to ensure safe working conditions with power tools, pneumatic tools, electric welding works, as well as when working in tanks and using gas cylinders.

Keywords: technogenic objects, repair works, hull constructions, protective means, electric welding works

С каждым годом в нашей стране увеличивается количество чрезвычайных ситуаций на промышленных объектах при производстве ремонтных работ. Это требует принятия грамотных решений по обеспечению безопасности данных работ. При подготовке к ремонтным работам на техногенных объектах необходимо выполнить комплекс мероприятий, которые обеспечивают безопасность условий труда.

Первоочередными мероприятиями являются:

- тщательная проверка освещенности рабочих мест;
- обеспечение вентиляции цистерн и помещений;
- обеспечение обогрева и отопления в зимнее время года;
- наклеивание предупредительных табличек;
- установка различных ограждений там, где планируются ремонтные работы;
- проверка готовности различных технических и грузоподъемных средств

к использованию по назначению.

Перед началом ремонтных работ необходимо привести механизмы в состояние, которое обеспечивает безопасность производства этих работ. В процессе работы следует проводить повторные периодические инструктажи работающих. Прежде чем произвести допуск персонала к работе, ответственное должностное лицо или лицо, принимающее решение за производство данного вида работ, должно персонально убедиться в том, что нет давления в трубопроводах, а также проверить полное отключение оборудования от источников

электроэнергии, воды, сжатого воздуха и пара. Должны быть приняты все меры против самопроизвольного открытия запорных устройств и наклеены таблички с предупреждением. При подготовке рабочего места необходимо освободиться от предметов, мешающих проведению ремонтных работ, в процессе выполнения ремонтных работ рабочие места не загромождать. В местах ремонтных работ ширина прохода не должна быть меньше 0,7 м. Перед работой обязательна проверка наличия в атмосфере помещения вредных газов, таких как ацетилен, пары красок и масел, растворителей красок и т.п. При их обнаружении следует провентилировать помещение. Центральная или автономная система отсоса газов и паров из помещения должна быть установлена при сварочных, газорезательных работах с огне- и взрывоопасными жидкостями. На конструкциях корпуса перед началом газо- и электросварочных работ очень важно произвести осмотр противоположной стороны конструкции и следует убедиться в том, что там изоляция снята и нет огнеопасных материалов. Проводить работу вблизи мест электросварки можно только при наличии переносных щитов для защиты от попадания на работающих брызг расплавленного металла.

Также необходимо выставлять дежурных или вахтенных у дверей, люков и размещать таблички с надписью: «Не трогать! Опасно для жизни!», если проверяются высоким давлением воздуха цистерны или шахты.

Во время ремонта запрещается:

- размещать вблизи производства работ легковоспламеняющиеся и взрывоопасные материалы;
- ставить плиты на ребро без прочного крепления;
- стоять против штоков во время работы с клапанами;
- работать в несколько ярусов;
- производить работы около трубопроводов, находящихся под давлением.

К работе с электроинструментом можно допускать только хорошо обученный персонал, сдавший соответствующий зачет, с которым проведен инструктаж по правилам безопасности. При этом персонал должен знать также правила оказания первой помощи при поражении электрическим током. При соприкосновении между металлическим корпусом инструмента и работающим создается повышенная опасность. Для переносного электроинструмента в качестве подводящего провода можно использовать только резиновый шланговый провод, у которого сечение жилы $1,5 \text{ мм}^2$ и напряжение 500 В. Как правило, в четырехжильном проводе четвертая жила, а третья жила в трехжильном нужны для заземления через заземляющее гнездо розетки корпуса электроинструмента. Эти жилы должны иметь отличительный цвет. Соединение между контактами вилки и розетки должно обеспечиваться до того, как в соприкосновение войдут рабочие токоведущие контакты [1].

Корпус приемника тока должен иметь с внутренней стороны специальный зажим для присоединения, заземляющего или нулевого провода. Защитные оболочки проводов должны тщательно вводиться в электроинструмент и надежно там закрепляться. Места ввода проводов должны иметь надежную электрическую изоляцию. Выключатели должны обеспечивать быстрое включение и отключение электроинструмента и исключать возможность самопроизвольного включения и выключения. Части электроинструмента, находящиеся под напряжением, должны быть устроены так, чтобы исключалась возможность соприкосновения с ними персонала, работающего с электроинструментом.

Следует отметить, что категорически запрещается использовать электроинструмент, у которого конструкция не позволяет обеспечивать безопасность при пользовании им:

- с токоведущими частями, конструкция или техническое состояние которых допускает возможность случайного прикосновения к ним;
- без изолирующих накладок на ручках;
- с незакрепленной в корпусе защитной оболочкой провода;
- при отсутствии устройств, предупреждающих натяжение провода и возможность излома или истирания его в местах ввода в корпусе. Изоляция электроинструмента должна

быть испытана на электрическую прочность напряжением не ниже 1 500 В. Проверять состояние электроинструмента необходимо еженедельно.

Перед началом работы следует проверить:

- надежность крепления узлов и деталей, отсутствие механических повреждений на корпусе объекта;
- исправность изоляции провода и надежность заземления;
- нет ли оголенных токоведущих частей;
- состояние коллектора и щеток;
- возможность быстрого включения электроинструмента в сеть и отключение его от сети;
- соответствие напряжения, подведенного к разъемному контактному соединению, напряжению, на которое рассчитан инструмент.

Во время работы с электроинструментом необходимо соблюдать следующие правила безопасности, а именно:

- работать в диэлектрических перчатках, стоя на резиновом коврике;
- следить, чтобы электроинструмент не перегревался, а в случае перегрева работу прекратить и отключить его;
- не допускать изгибания рабочего инструмента;
- при появлении хотя бы слабого ощущения тока на корпусе или при других неисправностях электроинструмента немедленно прекратить работу, выяснить причину и устранить ее;
- следить за исправным состоянием подводящих проводов, не допуская образования петель или перекручивания;
- рабочее место должно быть достаточно освещено, а свет не должен слепить глаза;
- при окончании работы сначала отключить инструмент от сети, а затем снять заземление;
- при перерыве в работе или при исчезновении напряжения электроинструмент отключить от сети.

При пользовании электрическим вулканизатором для вулканизации резины необходимо соблюдать требования электробезопасности и правила пожарной безопасности. Запрещается пользоваться вулканизаторами с открытыми нагревательными спиралями, а также с греющими элементами, которые рассчитаны на напряжение свыше 27 В. Поверхность вулканизатора должна быть теплоизолирована.

Обеспечивая мероприятия безопасности при работе с пневмоинструментом, необходимо подчеркнуть следующее.

К работе допускаются только лица, которые прошли специальную подготовку, обучение и имеющие свидетельство о допуске к данному виду работ. Пневмоинструмент должен быть исправен перед началом проведения работ.

Клапаны на рукоятках пневмоинструмента должны быть отрегулированы, свободно открываться и закрываться при прекращении нажатия на управляющую рукоятку. Очистные работы можно производить пневматической шлифовальной машинкой только при наличии в ней защитного кожуха. Прежде чем установить круг, нужно проверить, что на нем нет сколов и трещин. Установив круг, следует проверить машинку на холостом ходу в течение 5 мин. Шланг необходимо тщательно продуть до присоединения к машинке, а также в футорке машинки прочистить сетку. При продувке шлангов воздухом высокого давления держать их необходимо так, чтобы они были направлены в сторону от людей. Подача воздуха возможна только после того, как инструмент будет поставлен в соответствующее рабочее положение. Не допускается холостой ход инструмента. Нажимать на пусковой курок при работе пневмомолотком можно лишь после того, как инструмент будет находиться на обрабатываемой поверхности. При этом нужно добиться, чтобы при работе инструмента вблизи него не было людей (менее 5 м). Работающие должны обязательно пользоваться защитными очками при работе с пневмоинструментом.

При электросварочных работах, обеспечивая мероприятия безопасности, необходимо подчеркнуть следующее.

Допускаться к таким видам работ может только хорошо обученный контингент работников. Работники должны пройти соответствующее обучение по знанию правил безопасности при электросварочных работах и у них должен быть принят соответствующий зачет на допуск к самостоятельному проведению данных работ. Персонал должен твердо усвоить эксплуатационные требования сварочных агрегатов. Основным поражающим фактором при электросварочных работах является разряд электрической дуги, при котором поражаются электрическим током глаза, кожа. Кроме этого также возможны ожоги каплями расплавленного металла и шлака.

Большую опасность представляет собой прикосновение одной рукой к электроду, а другой – к свариваемому предмету. Чтобы не произошло поражения электрическим током, нужно чтобы оба провода в электросварочных установках имели прочную изоляцию и сечение, которое соответствовало бы величине силы тока.

В зависимости от величины электрического тока сечение сварочных проводов должно быть: при 60 А – 12 мм²; 100 А – 18 мм²; 140 А – 30 мм²; 175 А – 40 мм²; 225 А – 60 мм²; 280 А – 80 мм²; 335 А – 90 мм²; 400 А – 130 мм². Сопротивление изоляции проводов должно быть не менее 20 000 Ом.

Следует пользоваться специальными стробцинами и зажимами для хорошего контакта заземляющего провода с заземлителем. До окончания работ снимать заземление нельзя. В качестве заземления одного аппарата запрещается использовать заземление другого, последовательно соединенного с ним. Индивидуально должен заземляться каждый аппарат.

Облучение лица и шеи работающего может привести к тепловым ожогам кожи. Поэтому в качестве защиты должны применяться маски с защитными стеклами. В зависимости от величины сварочного тока используются следующие стекла – светофильтры: ЭС-100 – при сварочном токе 100 А; ЭС-300 – при 100–300 А; ЭС-500 – свыше 300 А.

От брызг из сварочной ванны могут происходить ожоги каплями расплавленного металла. Предотвращение ожогов достигается в основном умелой работой сварщика, применением сухих электродов и свариваемых деталей, удалением с них грязи, масел и ржавчины, вызывающих сильное разбрызгивание металла. Поэтому, соблюдая меры безопасности, работу необходимо выполнять в брезентовых рукавицах и в спецодежде. Они будут защищать сварщиков от поражения кожи и ожогов.

Следующим важным аспектом является то, что необходимо следить за нагрузкой и за состоянием электрических контактов. При этом нельзя допускать перегрузки. Электросварочные работы запрещено проводить вблизи легковоспламеняющихся и огнеопасных материалов (не менее 5 м должно быть минимально допустимое расстояние). Также необходимо проверить, что изделия, сосуды или трубопроводы не находятся под высоким давлением. Помимо этого нельзя прокладывать совместно с газосварочными шлангами и трубопроводами токоведущие сварочные провода, проводить ремонтные работы сварочной установки под высоким напряжением.

Что касается обеспечения мероприятий безопасности при работе в автомобильных, судовых, авиационных, железнодорожных и других видах цистерн, надо подчеркнуть следующее.

Прежде чем приступить к ремонтным работам внутри цистерн, их целесообразно очистить от мазута, мусора, окалины, ржавчины, а затем пропарить паром под высоким давлением, промыть и провентилировать. Именно эти мероприятия в цистернах являются основным условием безопасности выполнения ремонтных работ. В зависимости от того, какие горюче-смазочные материалы находились в цистерне, зависит технология и алгоритм подготовки цистерны к работе в ней. Работникам категорически запрещается спускаться в цистерну, если содержание паров нефтепродуктов в воздухе более установленных норм. Также, если состав воздуха в цистернах неизвестен, то работающие должны обязательно

находиться в изолирующих противогазах. В правилах по технике безопасности при работах в цистернах прописано, что одному человеку категорически запрещается входить в такие цистерны или работать в них без связи с обеспечивающим номером. Производящий работы перед спуском в цистерну обязан надеть спасательный пояс с сигнальным тросом. Не менее 1 200 кгс (12 кН) должны иметь разрывное усилие трос и его крепление к поясу. Их следует испытать нагрузкой 200 кгс (2 кН) перед применением [2].

При ремонтных работах внутри цистерн необходимо выполнять следующие правила:

- специально назначенный вахтенный должен быть у горловины цистерны для страховки работающего в цистерне;
- на протяжении всего времени производства работ в них горловины и люки должны быть постоянно открыты;
- необходимо обеспечить в горловинах и люках цистерн вытяжную вентиляцию;
- постоянно следить за временем нахождения работника внутри цистерны. Это время должно составлять не более 50 мин;
- для освещения при работах в цистерне должны применяться только низковольтные взрывобезопасные светильники;
- работник при опускании в цистерну должен соблюдать меры безопасности и быть снабжен поясом с пристегивающимися лямками и сигнальным тросом;
- перед началом работы следует проверить, что в соседних цистернах отсутствуют топливо или взрывоопасные газы.

И, наконец, говоря о мероприятиях безопасности при использовании баллонов с газами, необходимо отметить, что опасность взрыва баллонов не зависит от содержания в них горючего или негорючего газа.

Причинами взрыва баллонов могут считаться:

- соударения баллонов о твердые поверхности;
- заполнение баллонов другими газами;
- утончение в результате коррозии стенок баллонов;
- резкое повышение температуры нагрева баллонов;
- свертывание вентилей при их открывании;
- в результате возникновения искр статического электричества при очень быстром выпуске горючего газа из баллона.

Взрывы кислородных и ацетиленовых баллонов возможны при попадании масел во внутреннюю полость вентиля. Также баллон может взорваться при нахождении в нем окарины [3].

Большую опасность представляют собой баллоны с агрессивными сжиженными газами при их длительном хранении. Опасность взрыва баллонов увеличивается в условиях низких температур. Это обусловлено тем, что углеродистые связи ослабевают и баллоны становятся хрупкими.

При перевозке на баллоны должны быть надеты веревочные или резиновые кольца толщиной около 25 мм. На специальных носилках, обеспечивающих полную безопасность, допускается переноска баллонов вручную. Категорически запрещается хранить баллоны в одном помещении с взрывчатыми и легковоспламеняющимися материалами. Температура в местах хранения не должна превышать +35 °С. Также нельзя использовать газ из баллона до конца, в баллоне всегда должно оставаться избыточное давление не менее 0,05 МПа.

Литература

1. Гаспарян В.Х. Технология электросварочных и газосварочных работ. М.: Изд-во Феникс, 2017. 176 с.
2. Ефремов С.В., Цаплин В.В. Безопасность в чрезвычайных ситуациях: учеб. пособие. СПб.: СПб ГАСУ, 2011. 296 с.
3. Пахно А., Шок В. Перевозка опасных грузов в цистернах: пособие для водителей. М.: Спецпортал, 2017. 219 с.

ОБЕСПЕЧЕНИЕ РАБОТ ПОДРАЗДЕЛЕНИЙ ПОЖАРНОЙ ОХРАНЫ ПО ТУШЕНИЮ ПОЖАРОВ В МЕТРОПОЛИТЕНЕ СРЕДСТВАМИ ТЕПЛОВИДЕНИЯ

С.Н. Терехин, доктор технических наук, доцент;

Д.В. Николаев, кандидат педагогических наук;

К.С. Юшеров.

Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России

Представлен анализ влияния опасных факторов пожара на здоровье и физическое состояние сотрудников аварийно-спасательных формирований, пожарной опасности подземных сооружений метрополитена, а также проблемы тушения пожаров и спасения пострадавших в ситуации ухудшения видимости в тоннелях метрополитена. Особое внимание уделено критериям выбора тепловизора для его наиболее эффективного применения в условиях пожара в метрополитене.

Ключевые слова: метрополитен, подземные сооружения, газодымозащитная служба, опасные факторы пожара, тепловизор

ENSURING THE WORK OF THE FIRE FIGHTING UNITS FOR EXTINGUISHING FIRES IN METRO BY MEANS OF THERMAL IMAGING SYSTEMS

S.N. Terekhin; D.V. Nikolaev; K.S. Yusherov.

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

The article presents an analysis of the impact of fire hazards on the health and physical condition of employees of rescue units, fire danger of underground structures of the subway, as well as the problem of extinguishing fires and rescue victims in the situation of deterioration of visibility in the subway tunnels. Particular attention is paid to the selection criteria of the thermal imager for its most effective use in a fire in the subway.

Keywords: metro, underground structures, gas and smoke protection service, fire hazards, thermal imager

Метрополитен является важной частью транспортной системы крупных городов. Постоянно растет число станций метрополитена, расширяется сеть действующих линий, увеличиваются объемы перевозок пассажиров. Нагрузка на метрополитен увеличивается из года в год. На ряде линий метрополитена в часы «пик» достигнуты пределы частоты движения поездов и наполняемости вагонов.

Для осуществления процесса перевозки пассажиров, метрополитен имеет разветвленную сеть подземных сооружений с размещенными в них техническими устройствами. Отечественный и зарубежный опыт эксплуатации метрополитенов свидетельствует об их высокой пожарной опасности. Тушение пожаров в подземных сооружениях метрополитена осложняется их сильным задымлением, удаленностью от поверхности, трудностями в управлении подразделениями пожарной охраны, необходимостью взаимодействия с администрацией объекта при проведении эвакуационно-спасательных работ и выполнении организационно-технических мероприятий по снятию напряжения и дымоудалению [1].

В связи с этим особое значение приобретают вопросы пожарной безопасности пассажиров и обслуживающего персонала метрополитена, а также безопасность личного состава подразделений пожарной охраны, принимающих участие в тушении пожара.

Успех спасательных работ и тушения зависит от правильной организации, современного оснащения и профессионального использования средств разведки пожаров а так же уровня подготовки личного состава к боевым действиям в условиях подземных сооружений метрополитена.

Пожарная опасность подземных сооружений метрополитена

Подземные линии метрополитена могут быть мелкого (от 6 до 12 м) и глубокого (до 100 м) заложения. Их пассажиропоток в часы «пик» достигает 60 тыс. чел /ч⁻¹ в одном направлении. В сооружениях станций (включая поезда) может находиться до 4 тыс. чел., а при нарушениях режима движения поездов или эскалаторов – до 5–6 тыс. чел.

Руководство перевозочным процессом на линии метрополитена осуществляется из центрального диспетчерского пункта. Поездным диспетчерам в оперативном отношении подчинены аварийно-восстановительные формирования метрополитена, поездные бригады, дежурный персонал станций и депо, а также диспетчеры, управляющие работой вспомогательных систем метрополитена (устройств электроснабжения, эскалаторов, вентиляции) на соответствующих диспетчерских пунктах.

В сооружениях метрополитена находится большое количество электрооборудования и кабельных сетей, в том числе транзитных кабелей специального назначения. По этой причине, а также вследствие особенностей эксплуатации электроустановок метрополитена и энергосистемы города, затруднено оперативное снятие напряжения с этих устройств. Относительно быстро (за 2–3 мин) напряжение может быть снято только с контактного рельса.

Пожарная опасность подземных сооружений метрополитена характеризуется:

- наличием значительного количества горючих материалов в оборудовании эскалаторных и путевых тоннелей, служебных помещений, а также подвижного состава;
- высокой насыщенностью помещений и сооружений кабельными сетями и электрооборудованием, находящимися под напряжением;
- высокой пожарной опасностью электроподвижного состава, перемещающегося в период эксплуатации по трассе и частично оставляемого для ночного отстоя в тупиках и на станционных путях.

Особенностями подземных сооружений метрополитена, затрудняющими тушение пожара, являются:

- сложная планировка и удаленность от поверхности, трудность доступа в ряд подземных объектов;
- сильное задымление подземного объекта с очагом пожара, а также прилегающих подземных сооружений на значительном участке трассы;
- наличие вентиляционных потоков, способствующих быстрому распространению горения на значительную площадь;
- массовое пребывание людей в подземных сооружениях в течение почти всей продолжительности суток, ограниченное число выходов на поверхность;
- возможность отключения вследствие пожара питания электрической тяги 825 Вт с остановкой поездов в тоннелях, рабочего и аварийного освещения, эскалаторов, части тоннельной вентиляции, а также светофоров и других устройств обеспечения безопасности движения.

Анализ влияния опасных факторов пожара на здоровье и физическое состояние сотрудников аварийно-спасательных формирований

Здоровье и физическое состояние сотрудников аварийно-спасательных формирований является предметом пристального внимания.

В перечне медицинских противопоказаний для личного состава, работающего в противогазах и дыхательных аппаратах, указано, что у сотрудников, не должно быть заболеваний глаз и придаточного аппарата [2].

Заболевания глаз снижают работоспособность и могут стать причиной инвалидности. Сотрудник с нарушением зрения, использующий противогаз, подвергает себя неоправданному риску.

Как известно, опасные факторы пожара (ОФП) наносят вред здоровью человека и приводят к различным заболеваниям или летальному исходу [3].

При выполнении работ на пожаре ОФП негативно воздействуют на участников тушения пожара. Передвижение пожарных затрудняется, они с трудом видят и дышат.

В дыму видимость снижается очень быстро. Этот фактор количественно представлен параметром «оптическая концентрация дыма». Расстояние видимости в дыму и оптическая концентрация дыма взаимосвязаны.

Дым – устойчивая дисперсная система. Дисперсная фаза дыма состоит из мелких твердых частиц размером $10^{-7} \dots 10^{-5}$ м. Они находятся во взвешенном состоянии. Горение сопровождается выделением токсичных химических соединений, повышением температуры окружающей среды [4].

Химические соединения, выделяемые при возгорании, оказывают специфическое воздействие на отдельные органы человека. Это служит причиной заболеваний и патологий, может приводить к профессиональным заболеваниям сотрудников Государственной противопожарной службы (ГПС) МЧС России.

Когда сотрудник переносит большие физические нагрузки, работая в дыхательном аппарате со сжатым кислородом, в органах дыхания происходят изменения:

- из-за расслабления поперечно-гладких мышечных волокон увеличивается «мертвое» пространство;

- в результате нервных влияний и накоплений в крови угольной кислоты учащаются дыхательные движения;

- повышается легочная вентиляция.

Температурно-влажностный режим дыхательного аппарата со сжатым кислородом (ДАСК) – теплопроводный, дыхательная смесь в дыхательном мешке имеет температуру, идентичную температуре окружающей среды. Поэтому при работе в подвалах, тоннелях, шахтах и прочих подземных сооружениях с высокой температурой дыхательная смесь сильно нагревается и отрицательно воздействует на состояние газодымозащитника.

Относительная влажность дыхательной смеси в противогазе поддерживается до 100 % за счет паров воды при выдыхании, 18,5 % влажности химвлагопитателя и пота с лицевой части тела.

При тяжелой продолжительной работе и частом дыхании периодически срабатывает механизм легочного автомата и почти не работает избыточный клапан, в результате процентное содержание азота в дыхательном мешке увеличивается [4].

Из табл. 1 видно, что вдыхаемый воздух имеет в своем составе 78,03 % азота, а выдыхаемый – 78,5 %, разница после каждого дыхательного движения составляет 0,47 %. Этот азот поступает из организма при окислении и видоизменении белков.

Кроме того, имеющийся в баллоне медицинский кислород в своем составе содержит около 99 % кислорода и 1 % азота. При емкости баллона в 2 л («Урал-10») с давлением 200 атм. имеется около 400 л кислорода и 4 л азота.

Таблица 1. Состав воздуха при спокойном дыхании

Воздух при спокойном дыхании	Состав воздуха, %		
	O ₂	CO ₂	N ₂
Вдыхаемый	20,96	0,02	78,03
Альвеолярный	13,70	5,60	80,70
Выдыхаемый	16,40	4,10	78,50

Будучи инертным газом, азот не вступает в реакцию с поглотителем химическим известковым ХП-И, а накапливается в дыхательном мешке. Если избыточный клапан периодически не работает, количество азота в воздухе дыхательного мешка увеличивается, а процентное содержание кислорода опасно сокращается. Это может привести к азотному «опьянению».

Поэтому необходимо через каждые 30 мин работы в ДАСК нажимать на кнопку аварийного клапана с продолжительностью 2–4 с и промывать кислородом дыхательный мешок до срабатывания избыточного клапана.

Сотрудникам, ликвидирующим чрезвычайные ситуации (ЧС), следует остерегаться и сопутствующих проявлений ОФП. К ним относят вынесение высокого напряжения на проводящие ток части различного оборудования.

Сотрудниками аварийно-спасательных формирований для защиты дыхательных путей используются средства индивидуальной защиты (СИЗОД).

Изолирующие СИЗОД подразделяются на кислородные – ДАСК (регенеративные) и воздушные – дыхательные аппараты со сжатым воздухом (ДАСВ) (резервуарные) (рис. 1).



Рис. 1. Дыхательный аппарат со сжатым кислородом АП «Альфа» (слева) и дыхательный аппарат со сжатым воздухом ПТС «Профи- М» (справа)

Дыхательные аппараты со сжатым кислородом классифицируют по следующим признакам. В зависимости от условий применения они делятся на две группы:

- основные (рабочие);
- вспомогательные.

В зависимости от способа резервирования кислорода противогазы делятся на три группы:

- с газообразным медицинским кислородом (КИП-8, Урал-10, Р-30 и т.д.);
- с жидким медицинским кислородом (РХ-1 (СССР), «Кемокс» (США) и др.);
- с химически связанным кислородом (в регенеративном кислородосодержащем продукте на основе надперекисей щелочных металлов) (СПИ-20, ШСС-1, ПДУ-3 и др.) [4].

Дыхательные аппараты и СИЗОД – основной инструмент защиты здоровья.

Усложнение обстановки при пожарах и авариях приводит к сердечно-сосудистым заболеваниям, повышению артериального давления, заболеваниям верхних дыхательных путей и расстройствам психики.

Пожарные подвергаются воздействию высоких и низких температур. Экстремально высокие температуры вызывают ожоги, а низкие нарушают терморегуляцию. Нарушается кровообращение и водно-солевой баланс, появляются тепловые отеки и судороги.

Показатели смертности среди пожарных близки к показателям смертности военных моряков и строителей. Продолжительность жизни пожарного меньше, чем у представителей других опасных профессий.

Количество смертельных случаев сотрудников ГПС при тушении пожаров продолжает расти. Причины смерти: отравление продуктами горения 60 %, инфаркты 22 %, ожоги 16 %.

Обеспечение проведения работ по тушению пожаров в метрополитене для подразделений пожарной охраны средствами тепловидения

Опыт тушения сложных пожаров показывает, что успех операции зависит от:

- уровня организации газодымозащитной службы (ГДЗС);
- степени ее технической оснащенности;
- уровня подготовки личного состава к работе в непригодной для дыхания среде.

Своевременное и правильное использование ГДЗС позволяет сократить время тушения, уменьшить убытки и своевременно оказать людям необходимую помощь.

Определение роли, места и задач информационного обеспечения на различных этапах деятельности аварийно-спасательных формирований МЧС России имеет практическую значимость.

Системные особенности ретрансляции сигналов ГЛОНАСС и методы обработки сигналов позволяют повысить достоверность и сократить время позиционирования подвижных объектов и органов управления звеньями ГДЗС при тушении пожаров и ликвидации ЧС в сложных навигационных условиях, в том числе, в тоннелях метрополитена.

По статистике, каждый второй крупный пожар в стране ликвидируется при помощи звеньев ГДЗС.

Боевая работа личного состава ГДЗС осуществляется в условиях высоких температур, в задымленной и токсичной среде. При продвижении к очагу пожара первым следует командир звена ГДЗС.

Звено ГДЗС в помещениях движется вдоль капитальных стен. Сотрудники запоминают путь следования, соблюдают меры предосторожности, учитывают оперативно-тактические особенности объекта.

В гарнизонах пожарной охраны метрополитена создаются отделения ГДЗС на специальных автомобилях, оснащенных ДАСК.

В целях обеспечения пожарной безопасности подземных фойе, зданий повышенной сложности, кабельных тоннелей, подвалов сложной планировки решение о создании отделений ГДЗС принимается руководителями территориальных органов МЧС России [2].

Основными задачами ГДЗС являются:

- обеспечение и поддержание сил и средств ГДЗС в постоянной готовности к целенаправленным действиям в зоне с непригодной для дыхания средой (НДС);
- создание необходимых условий для спасения людей, эвакуации культурных и материальных ценностей;
- защита людей и имущества от ОФП и ограничение развития пожара;
- тушение пожаров и проведение аварийно-спасательных работ в зоне с НДС;
- обеспечение безопасной работы газодымозащитников при тушении пожаров в НДС;
- подготовка и аттестация газодымозащитников;
- создание и совершенствование учебной материальной базы;
- осуществление мероприятий по реабилитации, правовой и социальной защите газодымозащитников.

Для выполнения боевой задачи и обеспечения безопасности своей работы звено ГДЗС включает необходимый минимум пожарно-технического вооружения. Этом минимум включает средства связи (радиостанция или переговорное устройство) и средства освещения (групповой фонарь – один на звено и индивидуальный фонарь на каждого газодымозащитника).

При работе на пожаре в условиях ОФП звенья ГДЗС остаются фактически «слепыми», слабо ориентируются в сложившейся обстановке.

Поиск эффективных способов обеспечения контроля работы звеньев ГДЗС – актуальная задача федеральной противопожарной службы МЧС России.

Но способы решения проблемы ориентации в пространстве звеньев ГДЗС используются лишь для тренировочных работ или учений.

На базе Управления (УГПС) ГУВД Москвы используется система «Волна», предназначенная для слежения за передвижением звена ГДЗС в дымокамере. «Волна» защищена от промышленных помех и допускает возможность независимого контроля над несколькими одновременно работающими звеньями.

Принцип действия этой системы основан на пеленгации электромагнитных колебаний малогабаритного генератора, размещенного на одежде или каске газодымозащитника.

Информация о перемещениях газодымозащитников инициируется на светоплане. Генератор электромагнитных колебаний подключается к антенне, закрепленной на каске. На потолке дымовой камеры укрепляются датчики индикаторов электромагнитного поля. Датчик крепится над каждым квадратом лабиринта.

При перемещении в электромагнитном поле, создаваемом генератором, на входах катушки датчика возникает электродвижущая сила, что приводит к срабатыванию реле и включению лампочки светоплана.

В УГПС Нижегородской области есть учебно-тренировочный комплекс с биотелеметрической системой. Система позволяет вести наблюдение за ходом тренировок при помощи промышленной телевизионной установки ПТУ-42. Радиозлектрокардиограф РЭК-1-7а осуществляет мониторинг частоты пульса каждого газодымозащитника.

Возможным выходом из сложившейся ситуации является использование тепловизионной техники для оценки обстановки в работе звеньев ГДЗС.

На тушении пожаров в сильно задымленных зданиях, когда в первую очередь нужно найти и спасти людей, применение тепловизоров может стать наиболее эффективным (рис. 2, 3) [5].

Системы видеозаписи с возможностью дистанционной беспроводной передачи позволят более эффективно управлять действиями спасателей.

Использование тепловизоров облегчит распознавание объектов в задымленной среде.



Рис. 2. Вариант размещения тепловизора



Рис. 3. Вариант обеспечения ведения действий по тушению пожара в тоннелях силами ГДЗС.

Состав средств технического оснащения бойца звена ГДЗС:

- 1 – маска; 2 – баллон противогаса; 3 – крепление противогаса; 4 – каска пожарного; 5 – боевая одежда пожарного; 6 – немеханизированный ручной инструмент; 7 – защитные наколенники; 8 – ремни противогаса; 9 – краги (защитные перчатки); 10 – радиостанция; 11 – тепловизор; 12 – боты пожарного; 13 – механизированный ручной инструмент**

Тепловое излучение ослабляется при прохождении через атмосферу из-за поглощения молекулами газа, аэрозолями, осадками, а также смогом, дымом и туманом [6]. В табл. 2 рассмотрены в порядке важности вещества, которые поглощают ИК-излучение в широких полосах с центрами, соответствующими указанным длинам волн.

Таблица 2. ИК-излучение веществ

Атмосфера	Длина волны
Вода (мкм)	2,7; 3,2; 6,3
Углекислый газ (мкм)	2,7; 4,3; 15
Озон (мкм)	4,8; 9,6; 14,2
Закись азота (мкм)	4,7; 7,8
Окись углерода (мкм)	4,8
Метан (мкм)	3,2; 7,8

Не считая ослабления в плотных дисперсных средах, молекулярное поглощение – главная причина ослабления излучения. Сильнее всего излучение поглощают пары воды, углекислый газ и озон. В нижних слоях атмосферы поглощение закисью азота и окисью углерода менее критично. Таким образом, можно определить положение двух окон прозрачности: 3,5–5 мкм и 8–14 мкм.

Наличие «окон» прозрачности означает, что все тепловизоры должны работать в коротковолновом или длинноволновом диапазонах.

Коротковолновый (3–5 мкм) диапазон более характерен для охлаждаемых тепловизоров, длинноволновый (8–14 мкм) – для неохлаждаемых (рис. 4).

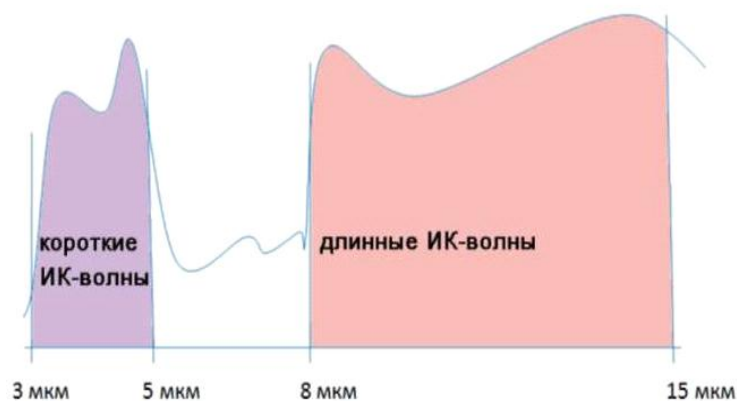


Рис. 4. Волновой диапазон работы тепловизоров

В коротковолновом диапазоне применяют приемники с фотоэлектрическим эффектом. Энергии кванта достаточно, чтобы под воздействием ИК-излучения электроны перешли в зону проводимости [7].

В длинноволновом чаще применяют болометры, потому что обнаружить излучение в этом участке спектра легче при помощи терморезистивного эффекта.

Рабочий диапазон приспособлен в большей степени для наблюдения в условиях дыма, тумана, смога. В диапазоне 8–14 мкм ИК-излучение не поглощается ни парами воды, ни углекислым газом: окно прозрачности «более прозрачное», чем в диапазоне 3–5 мкм.

В спецификациях часто можно встретить параметр NETD – Noise Equivalent Temperature Difference – эквивалентная шумовая разница температур.

Эта величина равна такой разнице температур сцены и объекта, которая расценивается прибором как шум. Она вводится для простоты понимания чувствительности тепловизора.

Например, для охлаждаемого тепловизора с NETD=20 мК это значит, что тело с температурой 30,002 °С будет неотличимо от фона с температурой 30 °С, в то время как разница в один градус будет ясно заметна.

В коротковолновом диапазоне разрешающая способность выше.

Современные тепловизоры разделяются на приборы с охлаждаемой матрицей и неохлаждаемой.

Согласно критерию Релея, разрешающая способность определяется соотношением:

$$R = D/1,22l,$$

где D – диаметр объектива; l – длина волны.

Угловой дифракционный предел, то есть минимальный угловой размер монохроматического источника охлаждаемого тепловизора равен $\varphi = \lambda/D$, где l – длина волны, D – диаметр объектива, имеет порядок 0,08 мрад (0,004 градуса) [8].

Для неохлаждаемых тепловизоров этот параметр ниже в три–четыре раза.

Охлаждаемые тепловизоры обладают большей контрастной чувствительностью: различают перепады в 20 мК при диафрагме, равной 5, в то время как неохлаждаемый болометрический – около 50 мК, при соблюдении условия, что диафрагма равна единице. Это является следствием различной физики фотоэлектрического и терморезистивного эффектов. Сочетание первых двух факторов дает третье преимущество – гораздо большую дальность обнаружения. Дальность обнаружения в 10 км – далеко не предел для охлаждаемого устройства [9].

Учитывая достоинства, следует упомянуть и о недостатках охлаждаемых тепловизоров:

- потребляемая мощность выше, чем у неохлаждаемого устройства;
- между включением тепловизора и получением изображения может пройти несколько минут;

– ограниченный срок эксплуатации, обычно это несколько тысяч часов непрерывной работы.

Основные преимущества неохлаждаемых тепловизоров:

– рабочий диапазон лучше приспособлен для наблюдения в условиях дыма, тумана, смога. В диапазоне 8–14 мкм ИК-излучение не поглощается ни парами воды, ни углекислым газом;

– сравнительно небольшой размер и вес.

В отличие от охлаждаемых, неохлаждаемые тепловизоры начинают работать сразу после включения. Также для них характерна меньшая потребляемая мощность и очень долгий срок наработки на отказ.

Достоверным считается факт, что для создания четкого ИК-изображения тепловизионные камеры в принципе не требуют освещения. Это позволяет пожарным видеть сквозь дым.

Тепловизор дает возможность дистанционно оценивать эффективность пожаротушения, определять направление тушения даже в сильно задымленных местах.

Можно сделать следующие выводы:

– несмотря на значительное число публикаций по вопросам улучшения контроля работы звеньев ГДЗС, не все вопросы в рамках рассматриваемой проблематики решены. Однако эта задача может быть решена с использованием тепловизионной техники:

– малый вес, легкое управление и компактный размер тепловизора в сочетании с возможностью крепления на защитном шлеме делают этот прибор незаменимым помощником при ликвидации пожаров, когда из-за высокой задымленности невозможно произвести поиск очагов огня;

– сочетая в себе высокую надежность, прочную конструкцию и высокую четкость изображения, прибор позволит быстро найти источник огня, сориентироваться в задымленных помещениях, обнаружить в них людей.

Литература

1. Методические рекомендации по тушению пожаров на объектах метрополитенов. М., 2009.

2. Наставление по организации газодымозащитной службы федеральной противопожарной службы МЧС России. М., 2008.

3. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности: Федер. закон Рос. Федерации от 22 июля 2008 г. № 123-ФЗ. Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».

4. Боева А.А., Терехин С.Н. Обеспечение безопасности проведения аварийно-спасательных работ в подземных сооружениях аварийно-спасательными формированиями // Сервис безопасности в России: опыт, проблемы, перспективы. Арктика – регион стратегических интересов: материалы Всерос. науч.-практ. конф.: правовая политика и современные технологии обеспечения безопасности в Арктическом регионе». СПб., 2016.

5. Пусь В.В., Османов Ш.А., Терехин С.Н. Система тепловизионного контроля зданий и сооружений объектов транспортной инфраструктуры при деструктивных воздействиях // Проблемы управления рисками в техносфере. 2013. № 3 (27). С. 6–14.

6. Терехин С.Н., Османов Ш.А., Моторыгин Ю.Д. Система управления звеньями газодымозащитной службы МЧС России на основе тепловизионного контроля зданий и сооружений // Проблемы управления рисками в техносфере. 2013. № 4 (28). С. 65–71.

7. Ллойд Дж. Системы тепловидения. М.: Мир, 1978. 414 с.

8. Никитин С. Тепловизоры: не все так просто // Алгоритм безопасности. 2011. № 3.

9. Защищенные информационные системы поддержки принятия решений по обеспечению безопасности на объектах транспортной инфраструктуры: монография / Ю.И. Синешук [и др.]; под общ. ред. В.С. Артамонова. СПб.: С.-Петербург. ун-т ГПС МЧС России, 2013. 326 с.



ПОЖАРНАЯ И ПРОМЫШЛЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕЦЕПТУР ВЫСОКОЭФФЕКТИВНЫХ ОГНЕЗАЩИТНЫХ ПОКРЫТИЙ

Г.К. Ивахнюк, доктор химических наук, профессор;

С.О. Столяров.

Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России

Осуществлен теоретический анализ возможностей повышения эффективности действия огнезащитных покрытий с использованием методов синтеза абляционно-десорбционных покрытий. Предложены гипотетические принципы повышения эффективности огнезащитных покрытий за счет абляционно-десорбционного действия компонентов их рецептур. Выделен ряд адсорбентов, обеспечивающих возможность депонирования огнетушащих веществ, флегматизаторов, ингибиторов, способствующих повышению огнезащитных свойств покрытий оборудования и элементов инфраструктуры объектов нефтегазового комплекса.

Ключевые слова: пожар, огнезащита, эффективность, абляция, десорбция, эпоксидные смолы, адгезия, технология нанесения

PHYSICO-CHEMICAL MODELING OF RECIPTURES OF HIGH-EFFICIENT FIRE PROTECTIVE COATINGS

G.K. Ivakhnyuk; S.O. Stolyarov.

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

The theoretical analysis of the possibilities of increasing the effectiveness of the fire-protective coatings is carried out. Hypothetical principles for increasing the effectiveness of fire-retardant coatings, both due to ablation-desorption action of components of their formulations. A number of adsorbents providing the possibility of depositing fire extinguishing agents, phlegmatizers, inhibitors that enhance the fire-protective properties of equipment coatings and infrastructure elements of oil and gas complex facilities has been singled out.

Keywords: fire, fire protection, efficiency, ablation, desorption, epoxy resins, adhesion, application technology

Пожарная безопасность объектов нефтегазового комплекса (НГК) является одной из главных задач безаварийного функционирования объектов хранения, транспортировки и переработки нефтепродуктов.

Согласно статистике распределения техногенных чрезвычайных ситуаций (ЧС) по их видам на объектах НГК за 2004–2015 г. произошел 201 опасный инцидент, в том числе 91 взрыв, 72 пожара, 38 аварий с выбросом токсичных веществ.

Пожар на объектах НГК классифицируется как углеводородный и характеризуется стремительным ростом температуры, а также сопровождается динамическим ударом струи пламени по строительным конструкциям и оборудованию НГК. Скорость потока струи пламени нередко достигает скорости звука в воздухе (340 м/с).

Одним из способов придания огнестойкости металлическим конструкциям является применение таких пассивных средств огнезащиты, как огнезащитные покрытия, а их основным показателем является огнезащитная эффективность, определяемая по ГОСТ Р 53295–2009 (раздел 5) [1]. Температурный режим испытаний, продиктованный в нормативном документе, не соответствует теплофизическому режиму углеводородного пожара и не способен дать объективной оценки огнезащитной эффективности средств огнезащиты, применяемых на объектах НГК. В связи с этим возникает необходимость разработки средств огнезащиты, удовлетворяющим реальным требованиям пожарной безопасности оборудования объектов НГК.

Основными принципами реализации огнезащитного действия (ОЗД) являются:

- охлаждение;
- изоляция;
- флегматизация;
- ингибирование.

Технологические сценарии их реализации проявляются в применении огнезащитных покрытий. Огнезащитное покрытие представляет собой лакокрасочное покрытие (ЛКП), обладающее требуемой огнезащитной эффективностью вследствие пониженной горючести и низкой теплопроводности. Огнезащитные покрытия различаются по типу рецептур и степени огнезащитной эффективности. При относительно небольшой толщине слоя огнезащитные покрытия способны обеспечить требуемый предел огнестойкости и уровень огнезащитной эффективности. Последнее позволяет не утяжелять объект огнезащиты, а также защищать металлическую конструкцию от агрессивных атмосферных и химических воздействий.

На настоящий момент можно выделить следующие механизмы защиты для огнезащитного покрытия:

- 1) формирование субстратизирующего теплоизоляционного слоя;
- 2) снижение тепломассообмена горючих веществ между газовой фазой и конденсируемой;
- 3) поглощение тепловой энергии углеводородного пламени фазовыми превращениями отдельных компонентов рецептур огнезащитных покрытий;
- 4) поглощение тепловой энергии за счет излучения нагретой поверхности.

Формирование субстратизирующего теплоизолирующего слоя способствует эндотермическому поглощению тепла, расходуемого на химические и фазовые превращения при тепловом воздействии пожара. Газообразные продукты термического разложения, устремляясь к внешней поверхности, вспучивают жидкокристаллическую массу, как правило, термопластичных пленкообразователей, отводя значительную часть энергии. Продуктами термического разложения огнезащитных покрытий выступают инертные газы (антипирены), которые влияют на реакцию горения в результате увеличения их физического тепла при нахождении в сфере пламени, к таким газам относятся: CO_2 , H_2O , N_2 , HCl , CO и др. Образовавшийся защитный теплоизолирующий слой выступает физическим барьером тепловой энергии пламени. Этот слой также ограничивает диффузию горючих продуктов термического разложения огнезащитных покрытий к пламени и создает среду, обедненную кислородом, тем самым снижая энергопоглощаемость теплового потока к защищаемой поверхности. Отличительной особенностью таких покрытий от других лакокрасочных материалов (ЛКМ) является наличие в их составе флегматизаторов и ингибиторов горения, снижающих горючесть материала до требуемых значений и способных замедлить выгорание

защитного слоя. Общие механизмы ОЗД реализуемые в огнезащитных покрытиях представлены в табл. 1.

Таблица 1. Реализация принципов ОЗД при формировании субстратирующего теплоизоляционного слоя

ОЗД	Механизм защиты огнезащитных покрытий, реализуемый ОЗД
Охлаждение	Эндотермическое поглощение тепла при химических и фазовых превращениях (коксообразование)
	Отвод тепловой энергии при выделении газообразующих продуктов термического разложения
Изоляция	Создание теплоизолирующего субстратирующего слоя (коксовый барьер)
	Создание среды, обедненной кислородом, при выделении газообразующих продуктов термического разложения
Флегматизация	Выделение газообразных флегматизирующих продуктов
Ингибирование	Замедление реакции окисления

Теоретические исследования по поиску основных подходов создания огнезащитных ЛКМ пониженной горючести выявили то, что увеличение огнезащитного действия может быть достигнуто посредством создания оптимальных рецептов ЛКМ, учитывающих их специфику [2].

Введение наполнителей функционального назначения является неотъемлемой частью создания огнезащитных покрытий. Наполнители способны придавать необходимые технологические и эксплуатационные свойства покрытий. Газообразующие продукты изолируют материал от огневого воздействия, создавая среду, обедненную кислородом, способствуют тушению пламени и охлаждают защищаемую поверхность, поглощая некоторое количество тепловой энергии. Данное положение объясняется абляцией полимерных материалов, в котором основную роль занимает тепло- и массоперенос.

Абляция – это унос вещества с поверхности твердого тела под воздействием облучения или обтекания потока горячего газа. Удельная эффективная теплота абляции объясняется зависимостью скорости уноса массы вещества и поверхностной плотностью теплового потока. Данная зависимость представлена в формуле:

$$H_{эф} = \frac{q_0}{m} = \left\{ \int_{T_0}^{T_a} c_p dT + \gamma [H_{\phi} + \beta (\Delta H)_0] \right\} : \left(1 - \frac{q_p}{q_0} \right), \quad (1)$$

где q_0 – поверхностная плотность теплового потока к исходной (не расходуемой) поверхности при температуре абляции; m – массовая скорость абляции при стационарной А; c_p – удельная теплоемкость материала при постоянном давлении; T_a – абсорбционная температура поверхности материала в процессе абляции; $H_{эф}$ – удельная теплота фазовых превращений (плавления, испарения, сублимации); $(\Delta H)_0$ – перепад удельной энтальпии газа в пограничном слое; $q_p = \sigma \epsilon T^4$ – поверхностная плотность теплового потока, излучаемого поверхностью; γ – коэффициент газификации (доля массы, теряющаяся в виде паров и газообразных продуктов пиролиза); β – коэффициент массообмена для воздуха, $\beta = N(29/M)^{0,25}$; N – коэффициент газовыделения; M – средняя молярная масса газов и паров.

В соответствии с уравнением (1) увеличение удельной эффективности теплоты абляции можно достичь по средством увеличения T_a , $H_{эф}$, C_p .

Хорошо зарекомендовали себя в качестве наполнителей вещества по типу кварца, термическое разложение которых сопровождается большими эндотермическими эффектами, что приводит к увеличению удельной теплоты фазовых превращений.

В соответствии с уравнением (2), излучение тепла зависит от степени нагрева поверхности:

$$R = \int_0^{\infty} f(\omega, T) d\omega = \sigma T^4 \quad . \quad (2)$$

Из уравнения (2) следует, что наибольшей излучательной способностью обладают материалы, у которых процесс абляции сопровождается более высоким нагревом поверхности [3].

В процессе обзора специальной литературы было выявлено, что наибольшим огнезащитным действием обладают пористые наполнители с депонированными в них огнетушащими веществами (ОТВ). Для увеличения абляционной стойкости полимеров используют различные наполнители, снижающие вклад в абляцию механического разрушения и повышающие эффективную теплоту абляции. Для этой цели применяют волокна и ткани на основе неорганических оксидов, а также асбест, базальтовые сетки и термостойкие углеродные нити [4]. Подобный эффект можно достичь внедрением наполненных адсорбентов для реализации абляционно-десорбционных процессов [5].

Добавление функционально значимых ингредиентов в огнезащитное покрытие происходит при нормальной адсорбции в условиях температуры 20 °С и атмосферном давлении 750–760 мм.рт.ст. Из источника [6] известно влияние температуры адсорбции на процесс активной диффузии.

Таким образом, при поглощении вещества в адсорбентах становится возможным получение равномерно распределенных элементарных нанообъемов вещества. Диспергированное вещество (твердое, жидкое, газообразное) приобретает высокую величину внешней поверхности (1–2 тыс. м²/г), тем самым меняя свои физико-химические свойства и реакционную способность.

Депонировать наночастицы вещества и управлять ими возможно путем активированной диффузии сорбтивов в пористой среде [7].

Адсорбция на углях определяется дисперсионными силами взаимодействия. Кельцевым Н.В. [5] показано, что с увеличением температуры равновесная адсорбционная способность закономерно уменьшается, но при близости размеров микропор и молекул адсорбтива возможно аномальное увеличение адсорбции.

Повышение температуры при адсорбции органического вещества сопровождается увеличением статической сорбционной емкости. Таким образом, повышение температуры процесса адсорбции приводит к увеличению сорбции, вызванной активированной диффузией адсорбтивов в адсорбирующих порах, и сопровождается капсуляцией молекул веществ [6].

Аналогичное явление было обнаружено ранее для паро- и газообразных веществ и в настоящее время используется при хранении водорода [5].

На сегодняшний день можно выделить ряд сорбентов, обладающих объемами адсорбирующих пор определенных размеров, способных к активированной диффузии в условиях повышенных температур:

1) уголь активный марки ОУ – А – тонкодисперсный пористый материал, состоящий в основном из углерода, имеет сильно развитую общую пористость, широкий диапазон пор и большую величину удельной поглощающей поверхности (более 1 200 м² в 1 г угля). Адсорбционная активность по массе не менее 100 %;

2) природные цеолиты представляют собой алюмосиликаты каркасной структуры, имеющие однородные поры молекулярных размеров [3].

Повышение температуры слоя при десорбции уменьшает адсорбционную емкость цеолита и тем самым стимулирует перевод адсорбата из адсорбированной фазы в газовую. Нагрев цеолитов может осуществляться потоком горячего инертного газа, нормальных парафинов, углеводородных фракций [5].

Одним из перспективных направлений является добавление в рецептуры огнезащитных покрытий наполнителей, обладающих свойством полиморфной модификации. Полиморфные переходы сопровождаются значительной эндотермической реакцией, что позволит увеличить удельную теплоту фазовых превращений в удельной теплоте абляции. Данный эффект способствует охлаждению защищаемой поверхности. Одним из наиболее распространенных материалов, обладающих данным свойством, является диоксид кремния (SiO_2), из которого состоит 87 % массы литосферы. Диоксид кремния имеет несколько полиморфных переходов, при температуре выше $+573^\circ\text{C}$ α -кварц переходит в β -кварц, а вследствие повышения температуры β -кварц переходит в тридимит и кристобалит. Данная особенность диоксида кремния способствует увеличению огнестойкости покрытий на нескольких температурных участках. Положительная сторона данного компонента заключается в том, что диоксид кремния входит в состав природных цеолитов, что создает дополнительный огнезащитный эффект.

Основными критериями для выбора типа огнезащитного покрытия являются требования, предъявленные к защите металлоконструкций на объектах НГК. К данным критериям относятся: большой срок эксплуатации, дешевизна, хорошие декоративные свойства, простота применения, короткое время высыхания, улучшенные физико-механические свойства, водостойкость, высокая химическая стойкость, невысокая температура пленкообразования, светостойкость, атмосферостойкость, высокие антикоррозионные свойства, ремонтпригодность, а так же низкая горючесть и высокая огнестойкость.

Большинству этих параметров удовлетворяет пленкообразователь, полимерное связующее на основе эпоксидных смол. Связанно это с тем, что эпоксидные смолы являются термопластичными олигомерами, способными к беспрепятственному высвобождению газообразующих продуктов при термическом разложении, приводящему к формированию коксового теплоизоляционного слоя. На рынке огнезащиты для обеспечения требуемого предела огнестойкости объектов НГК достаточно зарекомендовали себя покрытия на основе эпоксидных смол. Примерами таких покрытий являются: «FIRETEX 90», «Спектр», «Айсберг 401», «Прометей – ЭП», «PRETERM – ER – 1709» и т.д.

Эпоксидные смолы (ЭС) в сравнении с другими связующими обладают: низкой вязкостью, способностью к отверждению в большом диапазоне температур окружающей среды, минимальной усадкой в процессе отверждения, что обеспечивает низкий уровень внутренних напряжений, превосходной адгезией к металлу, а так же хорошими антикоррозионными свойствами [2]. Однако помимо положительных черт, эпоксидные покрытия обладают и рядом существенных недостатков – высокая горючесть, жесткость, низкие физико-механические свойства. Данные недостатки компенсируются посредством введения в рецептуры наполнителей и функциональных добавок.

ЭС регулируются содержанием эпоксидных групп в процентах, то есть величиной эпоксидного числа. Процентное содержание эпоксидных групп в покрытии определяет вязкость продукта. Помимо этого ЭС разделяются на односегментные и двухсегментные, для которых характерна следующая закономерность: чем больше сегментов эпоксидных групп, тем выше твердость. Отличительной особенностью покрытий на основе ЭС является невозможность их использования без добавления специальных реагентов-отвердителей. Двухкомпонентность системы представляет определенные неудобства, обусловленные тем, что при смешении связующего и отвердителя жизнеспособность полимера ограничена во времени, но изменение типа и содержания отвердителя меняет свойства композиции

в зависимости от функциональных требований и, таким образом, позволяет получать покрытия с заданными свойствами [2].

В огнезащитных покрытиях на основе ЭС можно выделить следующие огнезащитные механизмы:

- 1) формирование субстратизирующего теплоизоляционного слоя вследствие дегидратации ЭС при воздействии высоких температур;
- 2) снижение тепломассообмена горючих веществ от газовой фазы к конденсируемой;
- 3) поглощение частиц подводящей тепловой энергии за счет фазовых превращений покрытия;
- 4) поглощение тепла за счет излучения нагретой поверхности.

Таким образом, анализ возможностей повышения эффективности огнезащитных покрытий привел к алгоритму ОЗД, представленного в табл. 2.

Таблица 2. Реализация принципов ОЗД при формировании субстратизирующего теплоизоляционного слоя

ОЗД	Механизм защиты огнезащитных покрытий, реализуемый ОЗД
А. Охлаждение	1) поглощение тепла при коксообразовании; 2) поглощение тепла на десорбцию депонированных адсорбентов; 3) поглощение тепла полиморфных превращений; 4) поглощение теплоты на сгорание теплоизолирующего слоя; 5) поглощение теплоты фазового перехода
Б. Изоляция	1) изоляция поверхности вследствие формирования теплоизолирующего субстратизирующего слоя; 2) изоляция поверхности при выделении продуктов термодеструкции; 3) изоляция поверхности при десорбции ОТВ, флегматизаторов, ингибиторов
В. Флегматизация	1) флегматизация поверхности вследствие выделения флегматизаторов из адсорбентов; 2) выделение газообразных флегматизирующих продуктов термодеструкции
Г. Ингибирование	1) ингибирование процесса горения вследствие выделения ингибиторов из адсорбентов; 2) замедление реакции окисления

Теоретический анализ возможностей повышения эффективности огнезащитных покрытий привел к выводу, что увеличение ОЗД достигается посредством армирования коксового слоя и добавления в рецептуру компонентов абляционно-десорбционного действия.

Такие методы являются нетрадиционными для механизма огнезащиты и представляют значительный интерес для обеспечения огнезащитной эффективности оборудования элементов инфраструктуры (НГК) и обеспечения пожарной и промышленной безопасности на объектах НГК.

Литература

1. ГОСТ Р 53295–2009. Средства огнезащиты для строительных конструкций. Общие требования. Методы определения огнезащитной эффективности // ЭЛЕКТРОННЫЙ ФОНД правовой и нормативно-технической документации. URL: <http://www.docs.cntd.ru> (дата обращения: 21.07.2018).

2. Ненахов С.А., Пименова В.П. Современные научно-практические тенденции в огнезащите: обзор трудов III Берлинской конф. // Лакокрасочная промышленность. 2009. № 7.
3. Зыбина О.А. Теоретические принципы и технология огнезащитных вспучивающихся материалов: дис. ... канд. техн. наук. СПб., 2012.
4. Чернова Н.С. Химические превращения и механизм огнезащитного действия вспучивающихся композиций: дис. ... канд. техн. наук. СПб., 2010.
5. Кельцев Н.В. Основы адсорбционной техники. М.: Химия, 1976. 512 с.
6. Адсорбционные и электрофизические методы синтеза наноматериалов / Г.К. Ивахнюк [и др.] // Известия Санкт-Петербургского государственного технологического института (технического университета) 2011. № 12 (38). СПб., 2011. С. 58–59.
7. Geloso B. Hydrogen storage on chemically activated carbons and carbon materials at high temperatures // Ann. Chem. V. 18. № 6. 1926. P. 413–426.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЧЕК-ЛИСТОВ В ОБЕСПЕЧЕНИИ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Д.Е. Хрунов.

Главное управление МЧС России по Ханты-Мансийскому автономному округу – Югре.

В.Н. Шангин.

Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России

Статья посвящена проблемам соблюдения требований пожарной безопасности на объектах с массовым пребыванием людей. Предложено использование чек-листов для контроля за бесперебойным функционированием системы обеспечения пожарной безопасности на объектах различного назначения.

Ключевые слова: пожарная безопасность, чек-лист, контроль, противопожарный режим, неисправность, возникновение пожара, устранение нарушений, должностные обязанности

USE OF CHEQUES-SHEETS IN FIRE SAFETY ASSURANCE

D.E. Khrunov.

The Main directorate of EMERCOM of Russia for the Khanty-Mansiysk autonomus okrug – Ugra.

V.N. Shangin. Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia

The article is devoted to the problems of observance of requirements of fire safety on objects with people mass stay. Use of cheques-sheets for check for trouble-free system operation of fire safety assurance on the objects of various assignment is offered.

Keywords: fire safety, cheque-sheet, control, fire-prevention mode, malfunction, occurrence of the fire, elimination of infringements, functions

Благодаря современным информационным технологиям ежедневно становится известно о множестве аварий, пожаров и иных критических ситуаций, причинами которых стала элементарная человеческая халатность и небрежность, а сколько подобных ситуаций по причине халатности чудом удалось избежать. Специалисты, занимающиеся вопросами безопасности, придерживаются единого мнения: «если соблюдать все предусмотренные

правила и нормы, то вероятность возникновения критических ситуаций сводится к минимуму». Причиной же попустительства является отсутствие навыков правильно осмысливать свои действия и делать из этого соответствующие выводы. Любое действие или бездействие человека может повлечь за собой определенные последствия, которые зачастую трудно предугадать, и если индивид не оценивает последствия собственных поступков или считает это неважным, то беспечность и безответственность становится одной из черт характера и со временем превращается в норму.

Проблема безответственности людей в обществе сегодня переходит на уровень угрозы национальной безопасности. Люди перестали брать на себя ответственность из-за боязни, а иногда вовсе из-за непонимания, что это такое. Например, руководитель крупного объекта, назначенный собственником для его управления, иногда даже и не подозревает, сколько функций он должен реализовать при осуществлении своей деятельности.

«Неисполнение или ненадлежащее исполнение должностным лицом своих обязанностей вследствие недобросовестного или небрежного отношения к службе либо обязанностей по должности» – такое определение халатности дает нам Уголовный кодекс Российской Федерации [1]. Законодатель разделил понятия «неисполнение» и «ненадлежащее исполнение». Кажущаяся на первый взгляд одинаковая причина, которая может повлечь последствия, имеет абсолютно разную природу. В первом случае – «несовершение каких-либо действий, изложенных в должностной инструкции», во втором – «неполное, формальное, нечеткое» выполнение своих обязанностей. Разница между этими понятиями – существенна. Невыполнение своих обязанностей – более очевидный факт, который находится на виду и может быть обнаружен в любое время. Ненадлежащее исполнение обязанностей латентно – должностное лицо выполняет свои функции, но как бы «не в полном объеме», это вводит в заблуждение, порождает уверенность в надлежащем исполнении функционала на определенном участке работы, не вызывает озабоченности при том, что фактически имеются серьезные проблемы, продолжающиеся сколь угодно долгое время.

В качестве примера можно привести ситуацию с обслуживанием противопожарных систем на объекте. При отсутствии обслуживания как такового (нет в наличии собственных специалистов и соответствующего договора со специализированной организацией) все очевидно – руководитель организации не обеспечил выполнение требований действующих правил – и это как раз «неисполнение своих обязанностей». Другая ситуация: договор заключен, но должностное лицо обслуживающей организации выполняет свою работу формально, при этом правильно оформляя все документы – ситуация усугубляется тем, что руководитель объекта введен в заблуждение и может находиться в нем сколько угодно долго, будучи уверенным в исправности и работоспособности систем. Аналогичные примеры можно привести по любым другим элементам противопожарной защиты на объектах любого назначения.

Отчасти исполнение обязанностей не в полном объеме соответствующими должностными лицами допускается по нескольким причинам: отсутствие широкого кругозора как в профессиональном, так и в социальном плане, формальное отношение к исполнению обязанностей на вверенном участке, да и просто элементарная лень. Показательно, что подавляющая часть должностных лиц могут быть ознакомлены со своими должностными обязанностями, однако знать будут их поверхностно либо не знать вообще. В некоторых случаях у должностных лиц возникает и вовсе неправильное представление о своем функционале.

Все вышеизложенное очень тесно связано с проблематикой обеспечения пожарной безопасности на объектах с массовым пребыванием людей. Федеральное законодательство [2] допускает наличие пожарного риска для зданий и сооружений, он минимален и «не должен превышать значение одной миллионной в год при размещении отдельного человека в наиболее удаленной от выхода из здания и сооружения точке». «Риск гибели людей в результате воздействия опасных факторов пожара должен определяться с учетом функционирования систем обеспечения пожарной безопасности зданий и сооружений». Иными словами, даже при

возникновении пожара система противопожарной защиты должна обеспечить своевременное оповещение и самостоятельную беспрепятственную эвакуацию людей из здания или сооружения до того, как опасные факторы пожара заблокируют пути эвакуации. Это достигается, в том числе, «комплексом организационных мероприятий...» [2]. Таким образом, даже при имеющихся на объекте самых современных системах противопожарной защиты, соответствующих требованиям путей эвакуации, достаточном количестве эвакуационных выходов и наличием других элементов все может быть сведено «на нет» элементарным несоблюдением персоналом объекта своих должностных обязанностей.

Неисправный датчик автоматической пожарной сигнализации или реле, блокирующее вентиляцию, отключенный речевой оповещатель системы управления эвакуацией или заблокированные эвакуационные выходы могут сыграть роковую роль при возникновении пожара. А контроль как раз и осуществляется «комплексом организационных мероприятий», должностными лицами с соответствующими должностными инструкциями. Иными словами, руководитель организации делегирует большую часть функций своим сотрудникам путем возложения на них конкретных обязанностей.

Безопасность в общем и пожарную безопасность в частности на крупном объекте с массовым пребыванием людей обеспечивают десятки, а в некоторых случаях – сотни людей, для многих из них исполнение требований пожарной безопасности – это всего лишь одна из множества выполняемых задач и не всегда – первостепенная. Тем не менее каждый должен иметь свой функционал и добросовестно его исполнять. Что же видит рядовой работник торгового центра, когда получает должностную инструкцию? Зачастую это несколько листов формата А4, где стандартным для такого рода документов шрифтом прописаны общие положения, обязанности, права и ответственность. Данные документы, как правило, имеют достаточно большой объем данных, казенный язык и сложно воспринимаются при прочтении. В некоторых случаях ознакомление с должностной инструкцией происходит формально, особенно это касается низкоквалифицированного персонала, а именно от этой категории работников нередко зависит соблюдение противопожарного режима на объекте. В итоге на объекте с массовым пребыванием людей бывает приличное количество персонала, имеющего поверхностное представление (или не имеющего его вовсе) о необходимости выполнения порой самых элементарных требований пожарной безопасности.

Даже самые многоопытные профессионалы время от времени допускают ошибки: человек несовершенен. Но как быть в ситуации, когда небольшая, казалось бы, оплошность может привести к человеческим жертвам, как это случается у летчиков, хирургов, спасателей? Одна из особенностей современной жизни состоит в том, что все мы зависим от систем, будь то большие коллективы людей, сложные технологии или совокупность того и другого. Одна из самых больших сложностей – сделать так, чтобы эти системы работали.

Чек-лист – универсальный по своей простоте и дешевизне инструмент контроля критичных показателей каждого дела и процесса. Внедрить его просто, пользоваться им удобно, и, как показывает мировой опыт, он позволяет существенно сократить число ошибок в самых разных сферах жизни [3].

Как уже было отмечено выше – должностные лица крупного объекта, помимо обязательных функций обеспечения пожарной безопасности, имеют достаточно широкий набор иных обязанностей, связанных с определенным родом их деятельности (торговля, анимация, охрана, клиринг и др.), которые достаточно обширны для того, чтобы соблюдать их, только полагаясь на память. Очевидно, что такая простая вещь, как чек-лист, может оказаться полезной при обеспечении пожарной безопасности в общем и противопожарного режима на объекте в частности. Замена традиционных должностных инструкций чек-листами значительно упростит и тем самым повысит надежность соблюдения соответствующих правил, а необходимость ставить галочки в квадратиках напротив соответствующего действия может уменьшить вероятность «неисполнения» или «ненадлежащего исполнения» обязанностей.

Американский хирург, журналист, писатель Атул Гаванде, известный как специалист в области оптимизации современного здравоохранения, в своей книге «Чек-лист. Как избежать глупых ошибок, ведущих к фатальным последствиям» пишет: «В сложной ситуации специалисты сталкиваются с двумя проблемами. Во-первых, это несовершенство памяти и внимания человека, особенно когда речь идет о рутинных делах, которые легко проглядеть на фоне более сложных событий. Несовершенство памяти и рассеянность приводит к ситуации, которую инженеры называют «все или ничего»: бежите ли вы в магазин за ингредиентами для домашнего торта, готовите ли воздушное судно к взлету или осматриваете пациента в больнице, если вы упустите хоть один ключевой момент, все ваши усилия могут пойти насмарку.

Еще одна трудность возникает, когда люди уговаривают себя не совершать какие-то шаги, хотя прекрасно их помнят. В сложных процессах есть этапы, не имеющие особого значения. Скажем в самолете рули высоты всегда разблокированы, и в большинстве случаев проверять это не имеет смысла. Люди скажут: «С этим никогда не было проблем» – но однажды проблема все-таки возникнет. Чек-лист, похоже, спасает от таких неудач. Он напоминает нам о минимальном количестве нужных шагов и делает их наглядными. Чек-листы не только упрощают проверку, но и вводят строгую дисциплину, при которой повышается производительность».

Несомненно, вышесказанное как нельзя лучше подходит и к обеспечению пожарной безопасности на объекте. Правила противопожарного режима в Российской Федерации [4] насчитывают почти 500 пунктов, определяющих требования пожарной безопасности на различных объектах. Несмотря на инструктаж и пройденный пожарно-технический минимум, сотруднику предприятия, никогда не сталкивавшемуся с пожарной безопасностью, достаточно сложно вычленив из всего разнообразия требований именно те, которые он должен соблюдать (или контролировать соблюдение) на вверенном ему участке работы, однако если ему будет предложено заполнить чек-лист, сделать это будет гораздо проще и понятнее. Конечно, целью внедрения чек-листов не является простая простановка «галочек» в квадратиках, результатом должно быть повышение культуры безопасности на объекте и укрепление дисциплины. Такое универсальное средство, не требующее ничего, кроме перечня контрольных вопросов, может помочь выявить ряд проблем в области пожарной безопасности, характерных для многих объектов различного функционального назначения, его использование позволит повысить эффективность деятельности персонала даже без повышения его уровня профессионализма.

Что должен представлять собой чек-лист, определяющий действия персонала по соблюдению, например, противопожарного режима на объекте с массовым пребыванием людей, а именно в крупном торгово-развлекательном центре. Начнем с персонала, непосредственно находящегося на объекте, например сотрудника охраны, имеющего в сфере своей ответственности определенный сектор, например часть этажа площадью 350–400 м², имеющего четыре эвакуационных выхода на лестничные клетки, пять коридоров, 12 пожарных кранов (ПК) внутреннего противопожарного водопровода, 10 огнетушителей. В соответствии с Правилами противопожарного режима в Российской Федерации [4] определены требования к вышеуказанным элементам системы противопожарной защиты:

1. Эвакуационные выходы с этажей на лестничные клетки: наличие дверей; отсутствие мебели, оборудования, производственных отходов, мусора и других предметов у дверей; наличие запоров, открывающихся изнутри без ключа; отсутствие блокировки выхода; отсутствие фиксации дверей в открытом положении; наличие и исправность устройств для самозакрывания.

2. Коридоры, являющиеся путями эвакуации: отсутствие различных материалов, изделий, оборудования, производственных отходов, мусора и других предметов.

3. ПК: отсутствие мебели, оборудования и других предметов у ПК; пожарный рукав присоединен к ПК и пожарному стволу, наличие пломбы на двери ПК.

4. Огнетушители: их наличие, наличие пломбы, соответствие давления требуемым показателям, наличие порядкового номера.

Для начала необходимо определить частоту проверки соблюдения вышеуказанных требований в зависимости от сложности объекта, времени суток, количества посетителей, одновременно находящихся на объекте, и возможных других факторов. На больших объектах наиболее удобным будет разработка чек-листов по каждому элементу противопожарной защиты отдельно и их расположение непосредственно на месте контроля. Например, чек-лист с требованиями к эвакуационному выходу (рис. 1) вывешивается непосредственно у двери данного выхода и заполняется с определенной периодичностью должностным лицом, ответственным за контроль его состояния.

Чек-лист по контролю состояния первичных средств (рис. 2) находится непосредственно у огнетушителя и т.д. Аналогичные схемы возможно разработать практически для любых элементов противопожарной защиты объекта.

Контроль состояния эвакуационного выхода
"___" ____ 20__ г.

Эвакуационный выход № 2 (3 этаж)

	Дверь находится в закрытом положении	08:00 ☒ 	14:00 ☐ _____
		10:00 ☐ _____	16:00 ☐ _____
		12:00 ☐ _____	18:00 ☐ _____
	Дверь не загромождена	08:00 ☒ 	14:00 ☐ _____
		10:00 ☐ _____	16:00 ☐ _____
		12:00 ☐ _____	18:00 ☐ _____
	Устройство для самозакрывания исправно	08:00 ☒ 	14:00 ☐ _____
		10:00 ☐ _____	16:00 ☐ _____
		12:00 ☐ _____	18:00 ☐ _____
	Дверь свободно открывается без ключа	08:00 ☒ 	14:00 ☐ _____
		10:00 ☐ _____	16:00 ☐ _____
		12:00 ☐ _____	18:00 ☐ _____

 При обнаружении нарушения требований пожарной безопасности - немедленно сообщить по тел: _____

Рис. 1. Чек-лист контроля эвакуационного выхода

Что же должен представлять из себя чек-лист: он должен быть кратким, четким, напечатанным крупным, легко читаемым шрифтом, в формате «СДЕЛАЙ-ПОДТВЕРДИ». Необходима четкая и ясная формулировка задач, которые необходимо решить. Пункты, указанные в чек-листе – это минимальные полные выполняемые операции, желательно чтобы эти пункты были написаны в утвердительной форме – это требует большей ответственности от контролера.

Каждая задача должна являться:

– важным этапом обеспечения пожарной безопасности, который легко пропустить при выполнении;

– исполнимой, но требующей особых действий по каждому пункту;

– разрабатываемой для прочтения вслух и вербальной проверки;

– решаемой при использовании чек-листа.

Чек-лист должен использовать:

– заголовок, который должен отражать основные цели;

– простой, ясный и логичный формат;

– помещаться на одной странице;

– иметь не более десяти пунктов в каждом разделе;

– простые и легкие для восприятия слова и предложения.

Чек-лист осмотра огнетушителя (1-е полугодие 2018 года)

Огнетушитель № 5

Огнетушитель в наличии

01 января	☒	<i>[Signature]</i>	01 апреля	☐	_____
01 февраля	☐	_____	01 мая	☐	_____
01 марта	☐	_____	01 июня	☐	_____

1 → Пломба в наличии

01 января	☒	<i>[Signature]</i>	01 апреля	☐	_____
01 февраля	☐	_____	01 мая	☐	_____
01 марта	☐	_____	01 июня	☐	_____

2 → Давление в норме

01 января	☒	<i>[Signature]</i>	01 апреля	☐	_____
01 февраля	☐	_____	01 мая	☐	_____
01 марта	☐	_____	01 июня	☐	_____

3 → Номер соответствует чек-листу

01 января	☒	<i>[Signature]</i>	01 апреля	☐	_____
01 февраля	☐	_____	01 мая	☐	_____
01 марта	☐	_____	01 июня	☐	_____

При обнаружении нарушения требований пожарной безопасности - немедленно сообщить по тел: _____

Рис. 2. Чек-лист осмотра огнетушителя

Существенной составляющей является выбор шрифта при составлении чек-листа. Люди используют шрифт как инструмент для визуальной передачи и восприятия информации. Для более эффективного достижения этой цели шрифт должен быть удобочитаемым, то есть пользователь должен читать его, затрачивая минимальные усилия. Благодаря удобочитаемым шрифтам при чтении внимание концентрируется, в основном, на самой информации, а не на средствах ее передачи [5]. Исследования, проведенные сотрудниками Северного (Арктического) федерального университета им. М.В. Ломоносова,

показали, что выбор правильного смыслового значения текста с наибольшей точностью достигается при использовании гарнитуры Arial (95 %) и Book Antiqua (88 %). Возможно, созданные с отказом от любых, не несущих практической нагрузки, «украшений» указанные шрифты не отвлекают внимание на рисунок самой гарнитуры, давая возможность читающему качественно понимать текст. Для выделения текста лучше использовать прописные и строчные буквы, а не различные цвета, что может также привести к отвлечению внимания.

Немаловажным компонентом при создании чек-листа является использование креолизированных текстов – текстов с иллюстрациями. При восприятии таких текстов реципиент получает содержание вербального текста и содержание иллюстрации, в которое входит содержание формы иллюстрации. Человек рассматривает картинку и читает вербальный текст, находясь под ее влиянием [6]. Пользователя более заинтересует графическое изображение огнетушителя, чем просто надпись «огнетушитель», пусть даже выделенная более крупным шрифтом, чем остальной текст.

Цветовая гамма иллюстраций также должна привлекать пользователя, она должна быть «активной» и иметь более выраженную роль, чем текст. Черно-белая цветовая гамма вызывает ощущение пассивности. Наиболее подходящим для нашего случая цветом иллюстраций будет красный – горячий, живой, подвижный, беспокойный, активный, напряженный, агрессивный.

Изображение в креолизованном тексте может быть «тяжелым», «плотным» – такие изображения ощущаются как сильные. Неопределенные, аморфные линии, малоконтрастные цветовые пятна неопределенной формы создают впечатление слабости. Ощущение силы приносят массивные (с толстым контуром) формы, резкие цветовые контрасты, насыщенные цвета. Красный, черный, желтый – как по отдельности, так и в своем сочетании – «сильные цвета» [6].

Еще одним параметром, который в высшей степени играет роль в понимании креолизованного текста, является степень правдивости и понятности иллюстрации. Низкая реалистичность картинки резко ослабляет восприятие всего текста. Чем больше степень реалистичности, тем выше ожидаемая оценка иллюстрированного текста, выше оценка его содержания. Также немаловажен такой параметр, как контрастность изображения, чем она выше, тем более «сильным» будет являться восприятие.

Существенную роль играет оформление чек-листа, с ним должно быть приятно работать, он должен выглядеть эстетично.

Сегодня разработано достаточное количество программ обучения в области пожарной безопасности, а также различных способов их доведения до обучаемых – от стандартных семинаров до высокотехнологичных программных и мультимедийных продуктов. В то же время уровень подготовки персонала различных объектов в области пожарной безопасности оставляет желать лучшего, и он уменьшается пропорционально времени, прошедшему после обучения. Более того, если индивидууму не приходится ежедневно сталкиваться именно с проблемой противопожарного режима – его подсознание автоматически сотрет эти знания, умения и навыки как ненужные.

Такая же ситуация возникает и во множестве других областей деятельности. Люди в большинстве своем никогда не отслеживают и не анализируют допускаемые ошибки в повседневной жизни, будь то покупки в магазинах, воспитание детей, соблюдение правил дорожного движения и во многих других сферах. Они не готовы рассматривать и анализировать повторяющиеся ошибки, более того, не готовы учиться на ошибках других, вырабатывать систему профилактики и предупреждения этих ошибок. Необходимо признать, что человеку свойственно ошибаться, и в некоторых случаях эти ошибки становятся фатальными.

С целью изучения эффективности внедрения и использования чек-листов на объектах с массовым пребыванием людей специалистами надзорной деятельности Главного управления

МЧС России по Ханты-Мансийскому автономному округу-Югре был проведен эксперимент в здании многофункционального спортивного центра на 2 000 мест в г. Ханты-Мансийск. В течение двух недель работники объекта с определенной периодичностью путем обхода и заполнения соответствующих чек-листов осуществляли контроль за соблюдением требований, предъявляемых к эвакуационным путям и выходам. По результатам был сделан вывод о положительной динамике обеспечения требований пожарной безопасности. Так, в начале эксперимента часть противопожарных дверей, расположенных на путях эвакуации, находилась в открытом положении с неисправными устройствами для самозакрывания, часть эвакуационных выходов была заблокирована посторонними предметами. В конечном результате, должностные лица получили устойчивый навык соблюдения требований пожарной безопасности непосредственно в процессе исполнения своих повседневных обязанностей, а руководство объекта – информацию о системных нарушениях в здании спортивного сооружения. Но самым главным результатом эксперимента стал постоянный, непрерывный контроль за соблюдением требований пожарной безопасности к эвакуационным путям и выходам со стороны ответственных должностных лиц в течении всего времени эксплуатации объекта.

Чем скрупулезнее анализируются произошедшие аварии, катастрофы, крупные пожары, тем чаще становится понятным, что причинами ошибок, повлекших трагические последствия, является человеческий фактор. Преимущества чек-листов очевидны: структурирование информации, повышение скорости обучения соблюдению требований безопасности непосредственно на объекте, уменьшение числа ошибок из-за невнимательности, воспринимаемость даже низкоквалифицированным персоналом, минимальное время на выполнение задачи по контролю, возможность проверки добросовестности исполнителя. Внедрение в систему обеспечения пожарной безопасности использования чек-листов позволит как кратно уменьшить вероятность возникновения пожаров, так и повысить возможность своевременной эвакуации людей в безопасную зону и тем самым избежать трагических последствий.

Литература

1. Уголовный кодекс Рос. Федерации от 13 июня 1996 г. № 63-ФЗ // Собр. законодательства Рос. Федерации. 1996. № 25. Ст. 2954.
2. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности: Федер. закон от 22 июля 2008 г. № 123-ФЗ // Собр. законодательства Рос. Федерации. 2008. № 30. Ч. 1. Ст. 3579.
3. Гаванде А. Чек-лист: Как избежать глупых ошибок, ведущих к фатальным последствиям. М.: АЛЬПИНА ПАБЛИШЕР, 2014. 109 с.
4. О противопожарном режиме: постановление Правительства Рос. Федерации от 25 апр. 2012 г. № 390 // Собр. законодательства Рос. Федерации. 2012. № 19. Ст. 2415.
5. Морозова Л.В., Мурин И.Н. Психофизиологическая специфика восприятия печатного шрифта // Вестник Северного (Арктического) федерального университета. Сер.: Естественные науки. 2013. № 3. С. 76–85.
6. Вашунина И.В. Влияние формальной стороны иллюстрации на восприятие текста // Вестник Тамбовского университета. Сер.: Гуманитарные науки. 2008. № 7 (63). С. 122–127.

ПРИМЕНЕНИЕ ANSYS FLUENT ДЛЯ РАСЧЕТА ПАРАМЕТРОВ РАСПРОСТРАНЕНИЯ УДАРНОЙ ВОЛНЫ В УЗЛАХ СОПРЯЖЕНИЙ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК

Е.О. Шаравин;

В.Д. Цыганков;

Ю.Н. Бельшина, кандидат технических наук, доцент.

Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России

Рассматривается возможность использования программного продукта ANSYS FLUENT для математического моделирования ударных волн, возникших в результате возникновения взрыва в протяженных горных выработках, и их влияние на узлы сопряжения горных выработок. По заданным исходным данным выполнены расчеты, на основании которых построены математические модели для большинства типов сопряжений горных выработок. В результате расчета и моделирования установлена согласованность полученных экспериментальных результатов с фактическим процессом распространения ударной волны в упругих средах.

Ключевые слова: ударная волна, ANSYS FLUENT, математическое моделирование, взрывоопасная угольная пыль, максимальное давление взрыва, максимальная скорость нарастания давления взрыва

APPLICATION OF ANSYS FLUENT FOR CALCULATION OF PARAMETERS OF DISTRIBUTION OF THE SHOCK WAVE IN KNOTS OF CROSSINGS OF UNDERGROUND EXCAVATIONS

E.O. Sharavin; V.D. Tsygankov; Yu.N. Belshina.

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

In this article the possibility of use of the ANSYS FLUENT software product for mathematical modeling of shock waves in knots of interface of excavations is considered. On the basis of basic data calculations on the basis of which mathematical models for all existing types of interfaces of excavations are constructed are executed. On the basis of the analysis of literary data coherence of the received experimental results with the actual process of distribution of a shock wave in elastic media is established.

Keywords: shock wave, ANSYS FLUENT, mathematical modeling, explosive coal dust, maximum explosion pressure, maximum rate of explosion pressure rise

Актуальность данной работы обусловлена сложностью прогнозирования последствий от одного из самых опасных проявлений подземного взрыва – ударной волны.

Величина разрушений зависит от множества трудноопределяемых теоретическим путем факторов, в том числе изменения интенсивности и направления распространения ударной волны [1–3].

Сложность моделирования таких динамических процессов заключается в постоянной изменчивости и усложнении сети горных выработок, что требует постоянного мониторинга и создания новых математических моделей [2, 4–8].

Появление современных средств компьютерного моделирования позволяет исследовать многовариантные узловые соединения и учитывать множество факторов, сопровождающих проявление ударной волны. При этом достигается высокая степень визуализации различных фаз динамического процесса проявления давления, позволяющая качественно и количественно оценить параметры взрыва.

Цель работы:

Создание физико-математической двухмерной модели в программном продукте ANSYS FLUENT для моделирования поведения ударной волны, образующейся при взрыве каменноугольного аэрозоля, в различных узлах сопряжений горных выработок.

Модели и методы

Для описания распространения ударной волны в данной модели воспользуемся элементарной теорией ударной трубы [9–11], согласно которой для математического моделирования используем две константы: молекулярный вес – μ и показатель адиабаты – k .

Для области низкого давления соответствуют константы k_1 и μ_1 , а для области высокого давления – k_2 и μ_2 , соответственно, начальные давления p_1 и p_2 , при этом $p_2 \gg p_1$ (рис. 1).

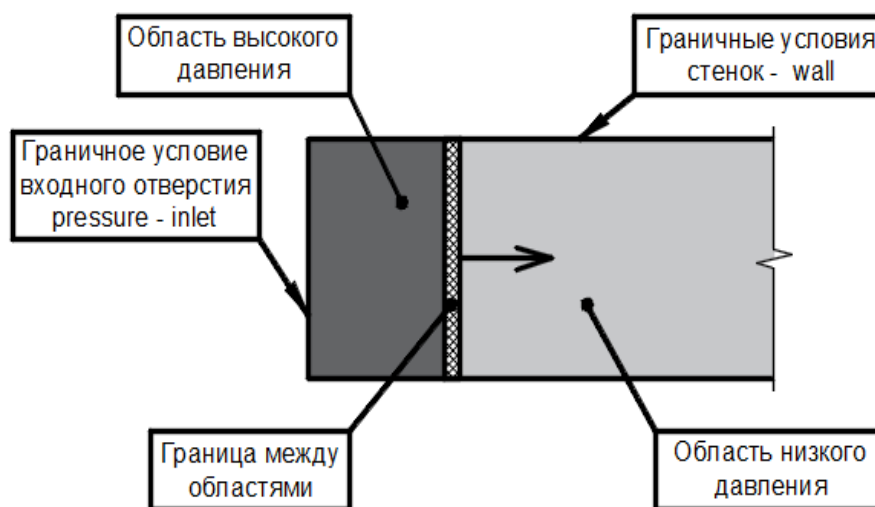


Рис. 1. Общая схема задания ударной волны в программном продукте ANSYS FLUENT

Кроме того, для упрощения расчетов ударную трубу считаем теплоизолированной, а движение газа адиабатическим.

Согласно данной теории получаем следующее выражение, которое впоследствии будем использовать для моделирования:

$$\frac{p_2}{p_1} = \left(\frac{2k_1}{k_1 + 1} M_1^2 \frac{k_1 - 1}{k_1 + 1} \right) \left[1 - \frac{k_2 - 1}{k_1 + 1} \left(M_1 - \frac{1}{M_1} \right) \frac{a_1}{a_2} \right]^{-\frac{2k_2}{k_2 + 1}},$$

где p_2/p_1 – заданное начальное отношение давлений на разных участках трубы; k_1, k_2 – показатели адиабаты для области низкого и высокого давления; μ_1, μ_2 – молекулярный вес для области низкого и высокого давления; M_1 – число Маха ударной волны:

$$M_1 = \frac{\theta}{a_1},$$

где θ – скорость потока; a_1 – местная скорость звука.

$$\frac{a_1}{a_2} = \sqrt{\frac{k_1 * \mu_2}{k_2 * \mu_1}} .$$

Основные этапы математического моделирования в среде ANSYS FLUENT для задания ударной волны:

1. Создание необходимой геометрической модели.
2. Разбитие модели на элементы (генерация сетки расчета).
3. Задание граничных условий, материала и давлений.
4. Выбор необходимого уравнения решения и оптимизация параметров, соответствующих уравнению.
5. Определение параметров ударной волны для построения достоверной модели распространения ударной волны с использованием справочных данных.
6. Вывод и визуализация данных расчета.

Наиболее распространенные сопряжения горизонтальных горных выработок представлены на рис. 2 [10].

При моделировании процесса возникновения и распространения ударной волны задается один из приведенных на рис. 2 типов сопряжений выработок, позволяющий определить участки, на которых происходит нарастание, затухание давления взрыва и проявление отраженной ударной волны.

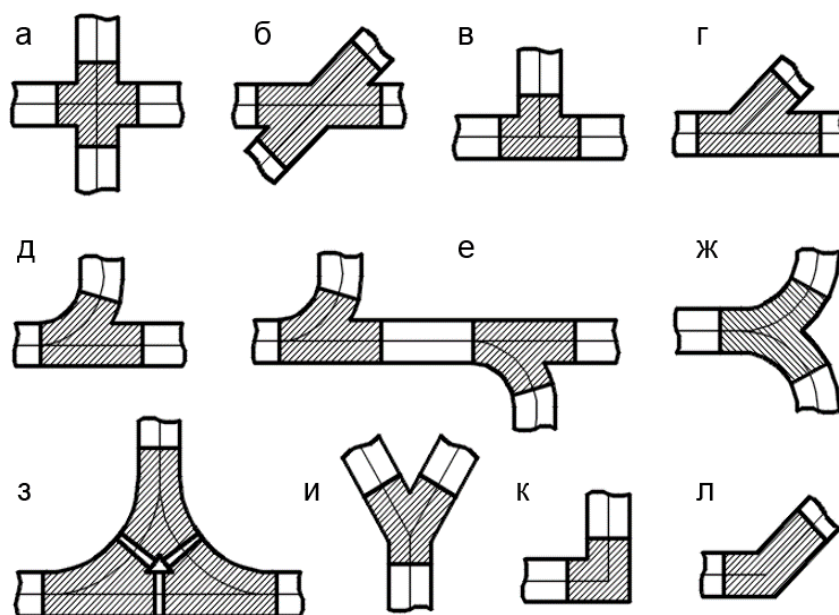


Рис. 2. Основные типы сопряжений горизонтальных выработок:

- а) прямоугольное и б) остроугольное пересечения; в) прямоугольное и г) остроугольное ответвления; д), е), ж) разветвления по кривым; з) сопряжение «треугольный узел»; и) разветвление под углом; к) и л) прямоугольное и тупоугольное примыкания

Определяющими факторами для построения адекватной и достоверной модели, учитывающей физико-химические свойства обращающихся в шахте пылегазовзвесей, содержащих, прежде всего, угольную пыль, являются максимальное давление взрыва, скорость нарастания давления взрыва и трансформационный коэффициент [11]. С помощью

трансформационного коэффициента возможно сопоставление расчетных параметров, процесса распространения ударной волны с полученными при построении модели данными.

На основании анализа литературных данных ряда работ по моделированию процесса распространения ударных волн [12–15] на начальном этапе наработки опыта, построения моделей распространения ударных волн по горным выработкам применяли исходные данные, определенные авторами работ [2, 3, 16].

Согласно [3, 11] расчетным параметрам по определению максимального давления взрыва и скорости нарастания давления взрыва, а также корректировке исходных данных, были проведены испытания на лабораторной установке, которая представляет собой 20-литровую взрывную камеру для исследования параметров взрыва пылегазосмесей различной концентрации. Общая схема и составные элементы установки представлены на рис. 3 (А, Б), 4. Данная лабораторная установка принадлежит Санкт-Петербургскому горному университету.

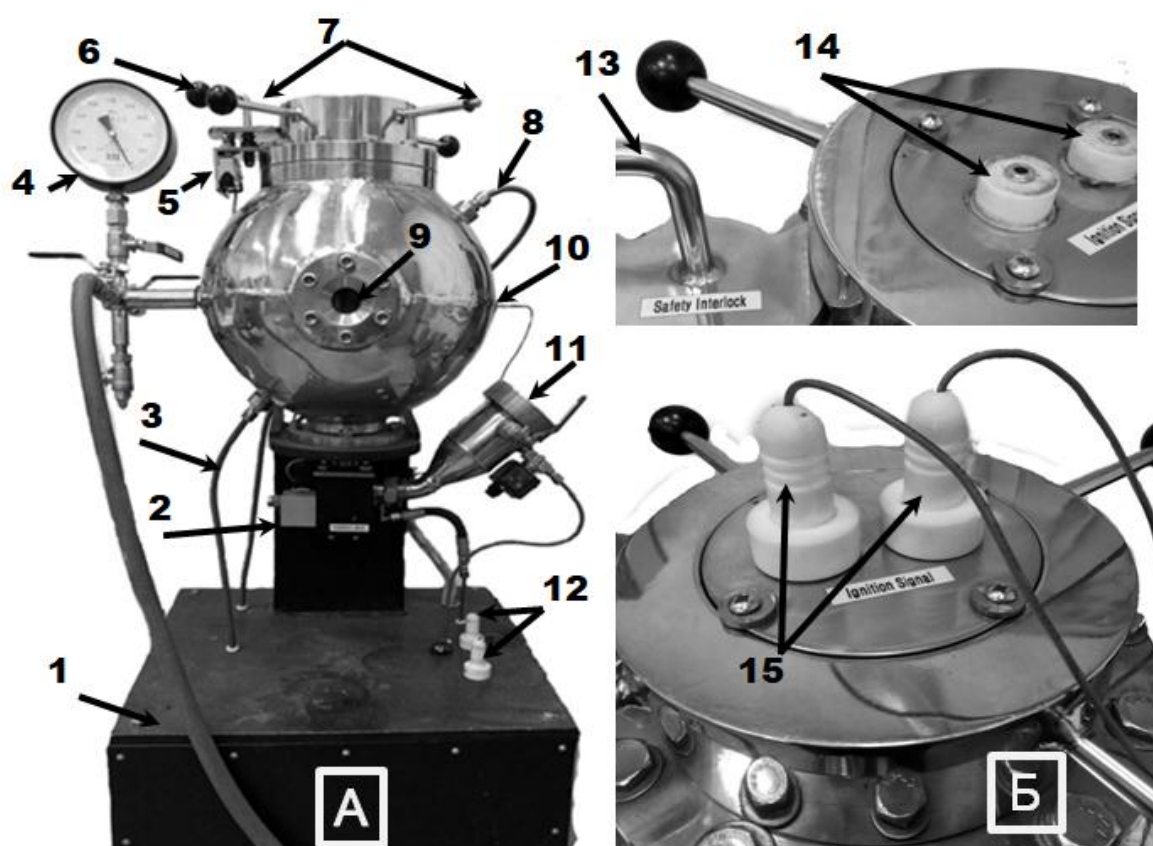


Рис. 3 А. Внешний вид 20-литровой взрывной камеры;

Б. Увеличенный фрагмент запорной крышки, со снятыми и подсоединенными кабелями зажигания;

1 – основание (стойка); 2 – мультифазный клапан подачи пыли/воздуха;

3 – вывод рециркуляционной воды; 4 – вакуумметр; 5 – предохранительная задвижка;

6 и 13 – ручка замка безопасности предохранительной задвижки; 7 – поворотные ручки крышки камеры; 8 – ввод для рециркуляционной воды; 9 – смотровое окно; 10 – ввод датчика давления; 11 – сосуд для образцов пыли (сосуд предварительной компрессии); 12 – контакты проводов зажигания в снятом положении; 14 – выход токопроводов на поверхность запорной крышки; 15 – контакты проводов зажигания, подсоединенных к токопроводам

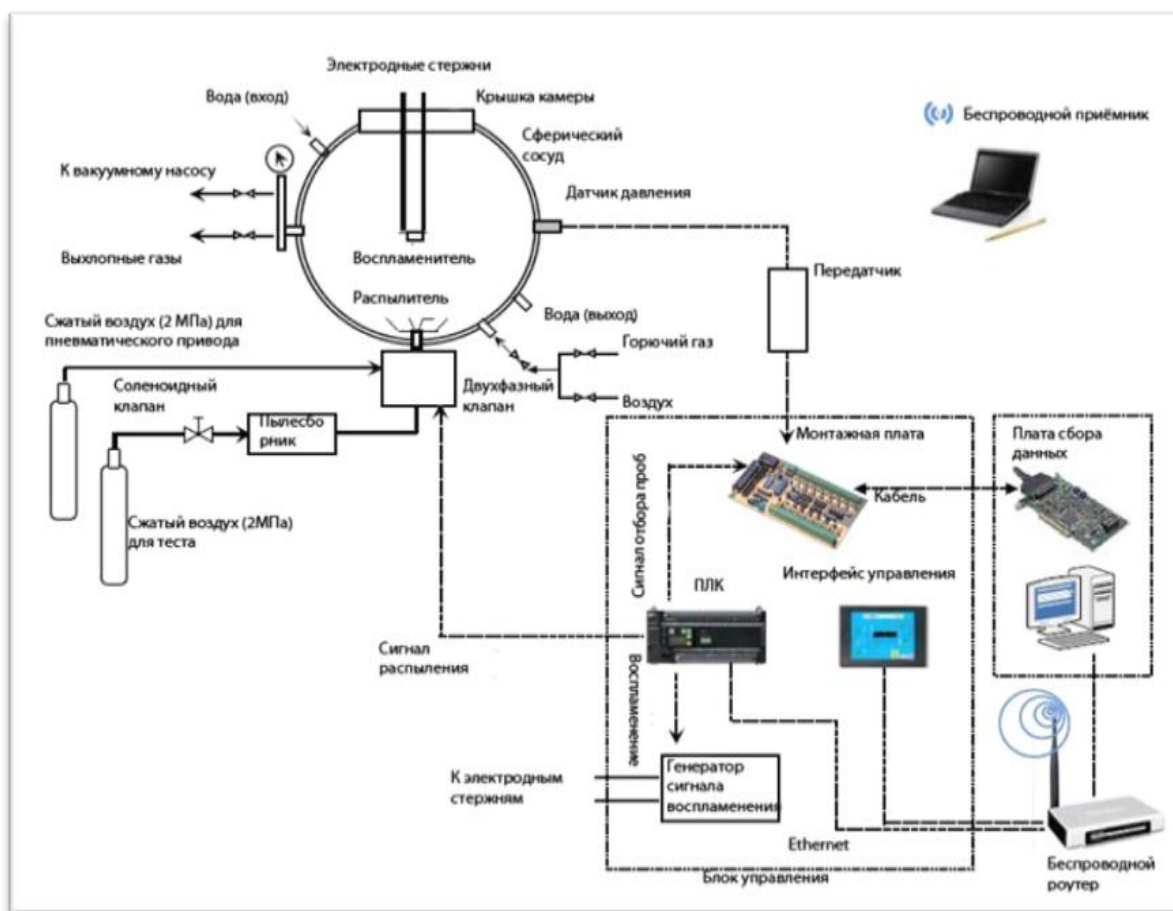


Рис. 4. Схема 20-литровой взрывной камеры

Для корректировки исходных данных были проведены испытания. В качестве примера на рис. 5 показан отчет о результатах испытания пробы каменноугольной пыли (КУП) с помощью установки на рис. 3 А, Б [11].

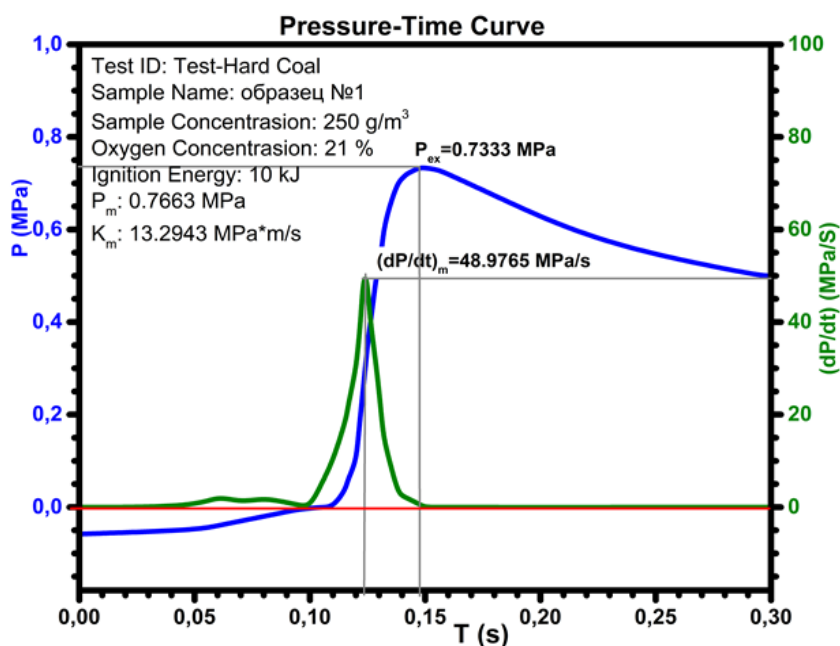


Рис. 5. Визуализированный результат графических данных определения взрывоопасных характеристик КУП в 20-литровой взрывной камере (P_{ex} – давление взрыва; dP/dt – скорость нарастания давления при взрыве)

Авторы работ [3, 17–19] установили, что наибольшее давление взрыва наблюдается у фракций 0–45 мкм, поэтому в исходных данных при построении моделей учитывали дисперсность пыли, при которой развиваются максимальные поражающие факторы взрыва.

В качестве исследования рассмотрим два наиболее часто встречающихся типа сопряжения горных выработок (рис. 2) – прямоугольное пересечение и прямоугольное ответвление. Так как математическая модель будет рассчитана лишь по двум координатам, форма и геометрические параметры сечения не играют роли.

В результате построения моделей для прямоугольного пересечения и прямоугольного ответвления горных выработок установлено появление отраженных волн. В случае прямоугольного пересечения значение давления при встрече падающей и отраженной ударных волн взрыва находится в пределах допустимого (синяя зона, рис. 6). При прямоугольном ответвлении наблюдается рост давления во фронте ударной волны, образованной падающей и отраженной ударными волнами рис. 5, при этом значение избыточного давления в несколько раз выше (до 0,9 МПа), чем во фронте падающей ударной волны.

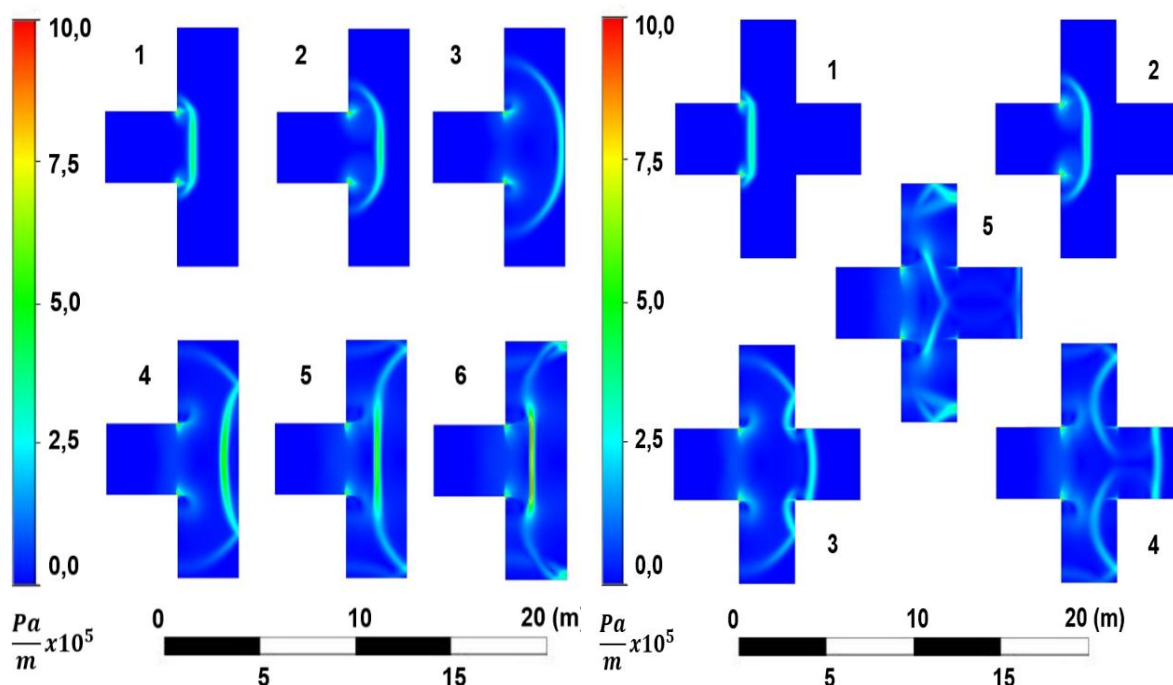


Рис. 6. Результаты визуализации расчета градиента давления
прямоугольного ответвления выработок

Полученные результаты позволяют сделать предположение, что в горных выработках, пересекающихся друг друга под острым углом, возникшая ударная волна при определенных обстоятельствах будет погашена устройствами взрывозащиты более эффективно.

Результаты моделирования соответствуют поведению ударной волны реальных экспериментов, представленных в альбоме течений жидкости и газа [2]. Из этого следует, что используемая математическая модель подходит для моделирования поведения ударной волны в различных сечениях выработках в двумерной постановке.

Таким образом, компьютерное моделирование с использованием программного продукта ANSYS FLUENT для математического моделирования ударных волн позволяет быстро, результативно рассчитать достаточно сложные узловые сопряжения горных выработок.

Литература

1. Информационный бюллетень Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору. Управление по надзору в угольной промышленности // Угольная промышленность. 2016. № 4 (85). С. 1–7.
2. Каледина Н.О., Кобылкин С.С. Моделирование процессов вентиляции шахт для обеспечения метанобезопасности горных работ // Горный журнал. 2011. № 7. С. 101–103.
3. Абиев З.А. Исследование взрывчатых свойств каменноугольной пыли глубоких шахт Кузнецкого бассейна // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. 2018. № 1. С. 73–82.
4. Draganić H., Varevac D. Numerical simulation of effect of explosive action on overpasses // GRAĐEVINAR. 2017. 69 (6). pp. 437–451.
5. A CFD-based Approach to Predict Explosion Overpressure / C. Díaz-Ovalle [et al.] // Chem. Biochem. Eng. Q. 2016. 30 (4). pp. 419–427.
6. Draganić H., Sigmund V. Blast loading on structures // Technical Gazette. 2012. 19, 3. pp. 643–652.
7. Estimation of the explosive mass based on the surface explosion crater on asphalt / D. Bjelovuk [et al.] // Technical Gazette. 2015. 22, 1. pp. 227–232.
8. Nitesh Moon. Prediction of blast loading and its impact on buildings. Under the guidance of Prof. (Dr.) M.R. Barik. Department of civil engineering national institute of technology ROURKELA-769008, 2009.
9. Ван-Дайк. Альбом течений жидкости и газа. М.: Мир, 1986.
10. Анализ динамики аэрологической обстановки при возникновении чрезвычайной ситуации (пожар/взрыв) в угольной шахте / В.А. Родионов [и др.] // Повышение качества образования, современные инновации в науке и производстве: сб. трудов Междунар. науч.-практ. конф. Прокопьевск: Изд-во филиала КузГТУ. С. 508–512.
11. Методика исследования влияния ингибирующих и флегматизирующих добавок на воспламеняемость и взрывчатость угольной пыли / З.А. Абиев [и др.] // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2018. № 5. С. 26–34.
12. Дмитриева О.А., Огрызко Я.А. Решение задачи прохождения сферической звуковой волны сквозь упругий слой в ANSYS. ANSYS Advantage // Нефтегазовое оборудование. Русская редакция. 2011. № 16. С. 11–12.
13. Zeynep Koccaz, Fatih Sutcu, Necdet Torunbalci. Architectural and structural design for blast resistant buildings: World Conference on Earthquake Engineering. Beijing, China, 2008.
14. Armand P., Olry Ch., Albergel A., Duchenne Ch. 3D simulation of the dispersion in the urban environment in case of an explosion using tesatex pre-processor and micro-swift-spray modelling system // Croatian Meteorological Journal. 2008. Vol. 43. No. 43/1.
15. Ngo T., Mendis P., Gupta & J., Ramsay A. Blast Loading and Blast Effects on Structures – An Overview // Blast Paper – EJSE Special Issue. 2007. Ver 02_NL.
16. Рыжков С.С., Гончарова Н.А. Исследование газодинамики сепарационного профиля маслоотделителя путем применения расчетного комплекса ANSYS FLUENT // ANSYS Advantage. Русская редакция №15. Энергетика и электротехника. 2011. С. 54–55.
17. Родионов В.А., Абиев З.А., Жихарев С.Я. Методика исследования процессов горения и детонации каменноугольной пыли в горных выработках // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Геология. Нефтегазовое и горное дело. 2018. Т. 17. № 1. С. 50–59.
18. Исследование взрывчатых свойств каменноугольной пыли глубоких шахт Кузнецкого бассейна / З.А. Абиев [и др.] // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. 2018. № 1. С. 73–82.
19. Жихарев С.Я., Пихконен Л.В., Родионов В.А. Исследование взрывопожароопасных свойств каменного угля Прокопьевского месторождения Кузнецкого угольного бассейна // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. 2017. № 3. С. 65–74.

СНИЖЕНИЕ ПОЖАРНОЙ ОПАСНОСТИ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ НА ОСНОВЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ОГНЕЗАЩИТНЫХ СРЕДСТВ С НОВОЙ КОМПОЗИЦИЕЙ ВСПУЧИВАЮЩИХСЯ МИНЕРАЛОВ

Ю.Е. Актерский, доктор военных наук, профессор;

Ю.М. Тихонов, доктор технических наук, профессор;

Э.А. Джафаров.

Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России

Проанализированы имеющиеся огнезащитные строительные смеси, их достоинства и недостатки. Описана структура новой композиции огнезащитной смеси на основе вспучивающихся минералов, разработанной с целью эффективного противодействия опасным факторам пожара и повышения огнестойкости строительных конструкций.

Ключевые слова: огнезащитная обработка, вспучивающиеся минералы, пожар, сухая строительная смесь

REDUCTION OF FIRE RISK OF BUILDING STRUCTURES BASED ON THE USE OF FLAME RETARDANTS WITH A NEW COMPOSITION OF INTUMESCENT MINERALS

Yu.E. Akterskiy; Yu.M. Tikhonov; E.A. Dzhaфарov.

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

This article analyzes the available flame retardant mortars, their advantages and disadvantages. The article describes the structure of the new composition of intumescent minerals, designed to effectively counter the hazards of fire and preserve the flame retardant properties of the material.

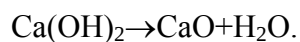
Keywords: flame retardant treatment, intumescent minerals, fire, dry mortar

В современном мире вопросы обеспечения пожарной безопасности на объектах защиты остаются актуальными. Одним из основных элементов системы обеспечения пожарной безопасности является предупреждение пожаров, а именно проведение огнезащитной обработки конструкций и использование негорючих строительных материалов при проектировании и строительстве объектов. В настоящее время существует множество различных негорючих материалов. Но не все данные материалы обеспечивают требуемые пределы огнестойкости строительных конструкций в условиях воздействия опасных факторов пожара [1]. Коллективом авторов была проведена разработка новой сухой негорючей огнезащитной смеси с закрытым набором компонентов и проведен анализ уже имеющихся отечественных и зарубежных аналогов.

Например, известен штукатурный состав на основе строительного гипса, вспученного вермикулита, песка (Н.В. Василенко, патент № 2203236 (13) С2 от 7 февраля 2001 г.). Недостатком указанной смеси является наличие в составе кварцевого песка. Кварц – основная составляющая природного песка, переходит при $t=573\text{ }^{\circ}\text{C}$ из β -модификации в α с увеличением в объеме. В результате высокотемпературных воздействий штукатурный слой покрывается трещинами, и огонь продолжает распространяться.

Также известен огнезащитный состав (А.П. Пожнин, Т.Б. Шиняева, патент № 2073662 (13) С1 от 18 марта 1992 г.), содержащий в своем составе: портландцемент, необожженный

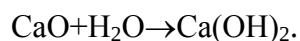
вермикулит, вспученный вермикулит, легкоплавкая глина, стекловолокно и комплексные добавки. Недостатком указанной смеси является наличие портландцемента в качестве вяжущего, который содержит Ca(OH)_2 , который при температуре выше 550°C разлагается по следующей реакции:



Соответственно, при взаимодействии с влажным воздухом или при тушении пожара водой пойдет обратная реакция, при этом продукт гидратации увеличивается в объеме в два раза, в связи с чем образуются трещины в теле материала, которые способствуют дальнейшему распространению пламени.

Известна растворная смесь, в составе которой содержится гипсовое вяжущее и вспученный вермикулит (В.П. Лузин, Л.П. Лузина, патент № 2230715 (11) от 1 июля 2002 г. (Центральный научно-исследовательский институт геологии). Недостатком смеси является понижение водостойкости, отсутствие армирующих и функциональных добавок для улучшения технологичности и потребительских свойств, то есть удобоукладываемости, водоудерживающей способности, регулирование сроков схватывания.

Наиболее близкой по технической сущности к заявленному изобретению является растворная смесь (Ю.М. Тихонов, М.Ю. Гугучкина, патент № 2541989 (13) С1 от 5 декабря 2013 г. [2]) для изготовления огнезащитного покрытия на основе гипсового вяжущего, вспученного вермикулита и вспученного перлита с функциональными добавками, такими как: эфиры целлюлозы, релаксифицируемый полимерный порошок, воздухововлекающая добавка, стекловолокно и загуститель. Недостатком данного изобретения является пониженная водостойкость рассматриваемого материала. При тушении пожара водой пойдет обратная реакция:



При этом продукт гидратации увеличивается в объеме в два раза, в связи с чем образуются трещины в теле материала, которые способствуют дальнейшему распространению пламени.

На основании проведенного анализа коллективом авторов была разработана новая композиция вспучивающихся минералов, которая отвечает всем требованиям в области пожарной безопасности и огнезащитной обработки конструкций. Новую полученную композицию можно отнести к сфере промышленности строительных материалов, а именно – сухая строительная смесь (ССС) для приготовления строительных штукатурных растворов, используемых для огнезащиты деревянных, фибробетонных и армоцементных строительных конструкций как внутри, так и снаружи помещений. Технический результат заключается в увеличении водостойкости, огнезащитной эффективности, трещиностойкости, улучшении реологических свойств растворной смеси, а также расширении линейки ССС на основе смешанного вяжущего. ССС огнезащитная водостойкая, включающая гипсоцементно-пуццолановое вяжущее, вспученный огнестойкий легкий заполнитель и поверхностно-активную добавку, и отличающаяся тем, что в качестве вспученного заполнителя используется смесь из вспученного вермикулита, вспученного перлита, в качестве активной добавки – микрокремнезем конденсированный марки МКУ-85, в качестве волокнистой добавки – стекловолокно длиной 6 мм, в качестве поверхностно-активной добавки – Esaron 1214, в качестве замедлителя схватывания – лимонная кислота при следующем соотношении компонентов, мас. %: гипсоцементно-пуццолановое вяжущее 82–92, вспученный перлит 4–9 и вспученный вермикулит 8–16, стекловолокно 0,6–1,6, микрокремнезем 1,4–2,4, воздухововлекающей добавки 0,03–0,06, замедлитель схватывания 0,4–0,6.

Задачей, на решение которой направлена данная композиция, является увеличение огнезащитной эффективности, коэффициента водостойкости, трещиностойкости, увеличение прочности при сжатии и изгибе, улучшение реологических свойств растворной смеси за счет введения эффективных минеральных и модифицирующих добавок, а также расширение линейки ССС на гипсоцементном-пуццолановом вяжущем с применением местных сырьевых материалов, обуславливающих ее огнезащитные свойства и экономические преимущества.

При использовании новой композиции вспучивающихся минералов была получена ССС огнезащитная водостойкая, включающая смешанное вяжущее, комплекс вспученных легких заполнителей и поверхностно активную добавку и отличающаяся тем, что в качестве вспученных заполнителей используются в смеси: вспученный вермикулит фракции менее 1,25 мм и вспученный перлит фракции менее 1,25 мм, в качестве активной минеральной добавки – например микрокремнезем конденсированный марки МКУ-85, в качестве волокнистой добавки – стекловолокно длиной менее 6 мм, в качестве поверхностно-активной добавки – Esaron 1214, в качестве замедлителя схватывания – лимонная кислота, что обеспечивает наибольшую прочность при минимальной средней плотности, соответствие свойств смеси ГОСТ 31377–2008 «Смеси сухие строительные штукатурные на гипсовом вяжущем. Технические условия» [3], коэффициент водостойкости более 0,75 при необходимом пределе огнестойкости до 120 мин при толщине защитного слоя 20 мм, при следующем соотношении компонентов, мас. %:

ГЦПВ	60–80
Огнестойкий минеральный вспученный заполнитель	5–7
Стеклофибра	0,3–0,5
МКУ-85	0,5–1
Esaron 1214	0,03–0,05
Лимонная кислота	0,4–0,6

Для проверки функциональных свойств предлагаемой композиции были приготовлены четыре состава: два на основе ГЦПВ и два на основе строительного гипса. Экспериментальное исследование указанных составов позволило определить изменения коэффициента водостойкости в зависимости от вяжущего. Из табл. 1 видно, что составы на основе ГЦПВ имеют более высокий и достаточный коэффициент водостойкости.

Таблица 1. Составы и свойства предлагаемых растворов

п/п	Состав	Свойства раствора					
		Предел прочности при сжатии, МПа					Коэффициент водостойкости
		в возрасте 7 сут в сухом состоянии	в насыщенном водой состоянии 1 сут	в насыщенном водой состоянии 3 сут	в насыщенном водой состоянии 7 сут	в насыщенном водой состоянии 28 сут	
1	ГЦПВ:В=1:1	2,62	1,52	1,50	2,03	2,20	0,58
2	ГЦПВ:П=1:1	2,92	2,23	2,78	3,65	3,86	0,76
3	Г:П=1:1	5,40	1,35	1,2	1,26	1,12	0,25
4	Г:П=1:1	10,35	4,11	4,06	3,96	3,76	0,40

Далее были проведены высокотемпературные испытания на способность выдерживания высоких температур до 1 100 °С в течение 180 мин в муфельной печи «Тулячка»-10П согласно

температурному режиму, приближенному к стандартному режиму печи ВНИИПО. Работы велись на образцах-кубиках 3х3х3 см. Всего испытывалось в печи пять составов. Перед испытанием образцы высушивались в нормальных условиях в течение семи суток.

По окончании высокотемпературных испытаний провели анализ испытываемых образцов на наличие трещин, деформаций, изменений в объеме. Следует отметить, что все пять составов выдержали высокотемпературные испытания. Имеют ровную и сплошную поверхность, без трещин, как и перед испытанием.

Так же стоит отметить, что в данном исследовании был определен оптимальный состав ССС на основе смешанного вяжущего с использованием вспученного заполнителя. Были исследованы основные показатели, такие как: прочность на сжатие, средняя плотность, коэффициент водостойкости. Технические характеристики разработанной огнезащитной водостойкой ССС соответствуют требованиям ГОСТ 31377–2008 «Смеси сухие строительные штукатурные на гипсовом вяжущем. Технические условия» (табл. 2).

Таблица 2. Технические свойства разработанной огнестойкой водостойкой ССС

Измеряемый параметр	Методика испытаний согласно	Результаты испытаний состава с перлитом	Результаты испытаний состава с вермикулитом
Цвет	Визуально	Бежевый	Бежевый
Влажность ССС, % по массе	ГОСТ 31376–2008	–	–
Содержание зерен размером: 0–1,25 мм	ГОСТ 31376–2008	0,16–1,25	0,16–1,25
Насыпная плотность, кг/м ³	ГОСТ 5802–86	360	450
Подвижность растворной смеси, мм	ГОСТ 31376–2008	165	165
Плотность растворной смеси, кг/м ³	ГОСТ 31376–2008	1 200	1 150
Жизнестойкость растворной смеси (начало схватывания), мин	ГОСТ 31376–2008	45	45
Водоудерживающая способность растворной смеси, %	ГОСТ 31376–2008	95	95
Средняя плотность раствора, кг/м ³	ГОСТ 5802–86	747	850
Истинная плотность, г/см ³	ГОСТ 25898–83	2,64	2,64
Истинная пористость, %	ГОСТ 25898–83	75	75
Предел прочности при сжатии, МПа	ГОСТ 31376–2008	2,06	1,74
Предел прочности при изгибе	ГОСТ 31376–2008	1,35	0,96
Класс горючести	ГОСТ 30244–94	НГ	НГ
Класс пожарной опасности	Табл. 3 123-ФЗ	КМ0	КМ0
Адгезия к бетонному основанию, МПа	ГОСТ 31376–2008	0,3	0,3

Класс пожарной опасности КМ0 подтвержден испытаниями лаборатории «МЧС-ТЕСТ-Северо-Запад».

Таким образом, практическое применение разработанной огнезащитной ССС позволит повысить пределы огнестойкости по потере несущей способности и целостности конструкций в среднем на 24 % по сравнению с известными отечественными и зарубежными аналогами [4] (URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_95720/).

Литература

1. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности: Федер. закон от 22 июля 2008 г. № 123-ФЗ. Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».
2. Сухая строительная смесь огнезащитная: пат. 2541989 (13) С1 от 05.12.2013 / Тихонов Ю.М., Гугучкина М.Ю., Шарапенко А.Ф., Пухаренко Ю.В., Терехин С.Н., Журавин А.А. URL: <http://www.findpatent.ru/patent/254/2541989.html> (дата обращения: 18.06.2018).
3. ГОСТ 31377–2008. Смеси сухие строительные штукатурные на гипсовом вяжущем. Технические условия». URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200076736> (дата обращения: 10.06.2018).
4. Технический регламент безопасности зданий и сооружений: Федер. закон от 30 сент. 2009 г. № 384-ФЗ. Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».

МЕТОДИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К ПОЖАРОТУШЕНИЮ И ЗАЩИТЕ ПОРИСТЫХ ГОРЮЧИХ МАТЕРИАЛОВ НА ТРАНСПОРТЕ

**А.А. Таранцев, доктор технических наук, профессор,
заслуженный работник высшей школы Российской Федерации;
А.Л. Шидловский, кандидат технических наук, доцент;
К.Н. Марасанова.
Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России**

Представлен анализ дисперсных систем, рассмотрен ряд причин и факторов возникновения загораний и самовозгораний перевозимых пористых веществ, приведены примеры крупных пожаров при транспортировке угля. Рассмотрены проблемные вопросы выбора способов предотвращения развития пожаров, выявлена необходимость разработки огнетушащих веществ, способных резко повысить теплосъем с очага и способных распространяться в выработанном пространстве на большие расстояния. Предложены методические подходы к повышению эксплуатационных характеристик огнетушащих веществ для тушения пожаров пористых горючих материалов.

Ключевые слова: пористые материалы, горение, гелеобразующие составы, уголь, транспортные объекты, пожары, водовоздушные пены, самовозгорание

METHODICAL APPROACHES TO FIRE EXTINGUISHING AND PROTECTION OF POROUS COMBUSTIBLE MATERIALS ON TRANSPORT

A.A. Tarantsev; A.L. Shidlovskiy; K.N. Marasanova.
Saint Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia

The analysis of disperse systems is submitted in the publication, the variety of reasons of emergence of fire and self-ignitions of the transported porous substances is considered, examples of major fire when transporting coal are given. Problematic issues of the choice of ways of prevention of development of the fires are considered, need of development of the fire extinguishing structures capable to sharply increase heat removal from the center, and capable

to extend in the developed space to long distances is revealed. Methodical approaches to increase in operational characteristics of fire extinguishing substances for fire fighting of porous combustible materials are offered.

Keywords: porous materials, burning, gel-forming structures, coal, transport objects, fires, air-and-water foams, self-ignition

Пожарно-техническая литература в числе дисперсных систем, склонных к самовозгоранию, чаще всего рассматривает пыли. Однако существуют и иные дисперсные системы, для которых отсутствуют показатели пожарной опасности и которые способны создавать реальную пожарную опасность. К рассматриваемым системам относятся в первую очередь пористые твердые материалы, пропитанные горючей жидкостью [1], а также угли.

Пористые материалы представляют собой твердотельную матрицу, содержащую поры, заполненные газом или жидкостью [2]. К ним относятся: древесина, ткани, бумага, уголь, топливные брикеты и большая номенклатура синтетических материалов. Они широко используются в быту, промышленности, строительстве. При этом основным недостатком рассматриваемых пористых материалов является их повышенная горючесть [3].

На сегодняшний день в России и в мире продолжает увеличиваться спрос на потребление твердого топлива, поскольку сжигание углей остается одним из востребованных способов получения энергии и это экономически оправдано.

Однако у углей и других пористых материалов существует главный недостаток – пожаро- и взрывоопасность, некоторые сведения по которым, вызванные самовозгоранием углей, представлены в таблице [4].

В связи с особенностями климата Российской Федерации происходит неравномерное потребление угля и других пористых горючих (топливных) материалов в течение года. В основном энергетический уголь используется в зимний период времени, соответственно, в летний период применение угля существенно снижается для отопления производственных и жилых помещений. Вследствие колебаний спроса в летнее время накапливаются угольные запасы на складах, при этом негативно влияя на экологию и качество хранимого угля. Наиболее опасными последствиями столь длительного хранения пористых материалов, в частности угля, можно считать в результате развития очагов самовозгорания. Одним из условий развития очага самовозгорания пористых материалов является постоянный приток кислорода [1]. Также самосогревание угля может происходить в результате жизнедеятельности термофильных микробов, выносимых к воздействию высоких температур [4]. Соответственно, считается крайне актуальным разработка такого огнетушащего вещества, после обработки которым уголь и другие пористые материалы будут поглощать меньшее количество кислорода, и способного резко повысить теплосъем с очага возгорания.

Таблица. Данные по возникновению пожарных ситуаций, вызванные самовозгоранием углей [4]

Дата	Причина пожарной ситуации	Место пожарной ситуации
Шахта, разрез		
30.09.2002 г.	Самовозгорание	Шахта «Егоршинская»
28.05.2005 г.	Самовозгорание	Шахта «Алардинская» Кузбасс
22.12.2012 г.	Самовозгорание	«Коркинский угольный разрез»
Железнодорожные вагоны		
07.09.2006 г.	Самовозгорание в вагонах	Станция Архара Хабаровского отделения Дальневосточной железной дороги (71 вагон)

30.09.2010 г.	Тление в вагонах	Станция г. Спасск-Дальний из Амурской области (15 вагонов)
12.10.2011 г.	Тление в вагонах	г. Белогорск Забайкальской железной дороги (10 вагонов)
25.09.2013 г.	Тление в вагонах	Станция Прохаско, Лесозаводского городского округа
21.03.2013 г.	Тление в вагонах	Станция Моховая Падь Забайкальской железной дороги
29.06.2013 г.	Тление в вагонах	г. Белогорск-Благовещенск, станция Моховая
17.09.2014 г.	Загорание вагона	Станция Челябинск-Главный ЮУЖД
Порт		
20.12.2001 г.	Самовозгорание	ОАО Восточный порт. Открытый огонь на угольных складах. 3 000 т
09.06.2007 г.	Самовозгорание	г. Светлый Калининградской области, «Светловская стивидорная компания» (600 к.в.)
31.07.2007 г.	Самовозгорание	3,5 тыс. т угля в Азовском морском порту
07.09.2011 г.	Самонагревание, самовозгорание	ООО «Восточный лесной порт». 11 000 т
15.09.2011 г.	Самонагревание	ООО «Восточная стивидорная Компания»
12.07.2012 г.	Самонагревание, самовозгорание	ОАО «Восточный порт»
03.09.2012 г.	Самонагревание, самовозгорание	ЗАО «Порт Восточные Ворота – Приморский Завод». 16 000 т
18.11.2013 г.	Самонагревание	ООО «Восточная стивидорная Компания»
17.12.2014 г.	Самонагревание, самовозгорание	ОАО «Восточный порт». 10 000 т
23.11.2015 г.	Самонагревание	ООО «ВУТ»
Теплоход		
14.11.2006 г.	Самовозгорание, самонагревание	Два инцидента на судах. Обращение Международной Организации ИМО на 14 сессии 2009 г. Япония
29.07.2008 г.	Самовозгорание	г. Керчь. Судно «Black Pearl 3»
2010–2011 гг.	Самовозгорание	18 инцидентов на судах. Обращение ИМО к перевозчикам Калимантана и Индонезии
17.12.2012 г.	Самонагревание	ОАО «Восточный порт», т/х «Qing PingHai»

Процесс самовозгорания углей на морском транспорте зависит от следующих факторов:

- времени года;
- превышения периода хранения углей;

- внешних источников тепла;
- несоблюдения условий формирования штабеля на складах;
- электротехнических причин (замыкание электропроводки, неисправное электрооборудование, искры);
- высокой влажности при транспортировке и хранении углей;
- погодных условий;
- засоренности углей инородными предметами [4].

Доставка пористых материалов осуществляется различными видами транспорта:

- железнодорожным (внутри государства, а также между другими странами);
- автомобильным (на небольшие расстояния);
- морским (для транспортировки «твердого топлива» между континентами).

Железная дорога является самым востребованным и экономически эффективным способом транспортировки [4].

На рис. 1, 2 приведены примеры крупных пожаров при самовозгорании вагонов с углем на железнодорожном транспорте.



Рис. 1. Возгорание грузового поезда с углем в Сосногорском районе Республики Коми. 7 мая 2013 г.



Рис. 2. Возгорание 11 вагонов с углем грузового поезда, следовавшего из Забайкалья. 8 октября 2011 г.

Возникновение пожаров на объектах железной дороги ведет за собой более масштабные последствия, чем на первый взгляд может показаться. Помимо времени, затраченного на ликвидацию горения и перегонку горящих вагонов, при наихудших обстоятельствах от высокой температуры могут деформироваться рельсы (рис. 3), соответственно, на замену поврежденного участка потребуются еще больше времени, при этом приостанавливается движение по данному направлению. Как следствие таких временных простоев, железнодорожные компании терпят огромные убытки за задержку и отмену пассажирских и грузовых рейсов.



Рис. 3. Деформация рельс в результате воздействия высоких температур при пожаре вагонов

Развитие горения пористых материалов происходит при наличии горючего материала в порах и окисляющегося вещества, а также притока к нему достаточного количества воздуха и условий теплообмена, когда при горении выделяется тепла больше, чем теряется в окружающем пространстве [6]. Состав и свойства пористых материалов изменяются в широких диапазонах, что существенно затрудняет ликвидацию их горения.

Воздействие некоторых факторов на процесс горения пористых материалов до настоящего времени недостаточно изучено, что затрудняет выбор способов предотвращения развития пожаров [6].

Подавление процессов возгораний пористых материалов осуществляется по следующим направлениям:

1. Снижением притока воздуха, что уменьшает величину выделяемого тепла.
2. Снижением концентрации кислорода в атмосфере до безопасного уровня.
3. Уменьшением химической активности пористых материалов, что сокращает выделение тепла.
4. Увеличением потерь тепла из окисляющихся пористых материалов в окружающее пространство за счет подачи хладагента, повышения теплопроводности и теплоемкости окружающей среды [7].

Повысить эффективность изоляции очагов самовозгорания пористых материалов от притока свежего воздуха позволяет применение гелеобразующих составов, основой которых чаще всего являются растворы жидкого стекла и хлористого аммония. Гели являются коллоидной системой, которая спустя некоторое время загустевает. Одним из преимуществ гелеобразующих составов является протекание эндотермической реакции при перемешивании исходных компонентов. Поэтому из-за поглощения тепла происходит снижение температуры образующегося геля и обрабатываемых им пористых материалов [6].

Существенным недостатком гелеобразующих составов считается их многокомпонентность, что затрудняет его получение [6].

При этом главными преимуществами гелеобразующих составов являются:

- повышенная адгезия к пористым материалам;
- при увеличении концентрации вязкость резко увеличивается и снижается текучесть, вследствие чего достигается большая толщина изолирующего слоя, что позволяет использовать гелеобразующие составы более эффективно.

Рассмотрение уже известных огнетушащих веществ (ОТВ) имеет ряд недостатков как с точки зрения эффективности (так как физико-химические свойства ОТВ не позволяют ликвидировать пожар при горении пористых горючих материалов достаточно быстро, соответственно, расход используемого ОТВ достаточно большой), так и с экономической точки зрения (поскольку многие ОТВ имеют высокую стоимость в принципе, а из-за невысокой эффективности тушения рассматриваемых материалов расходуется гораздо больше ОТВ, чем могло быть).

Качество угля при окислении, возгорании и воздействии ОТВ ухудшается, привлечение пожарных подразделений в последний момент влияет на огромные объемы работ по ликвидации пожаров и аннулирование угля как товара [2]. В связи с этим проблема профилактики пожаров пористых горючих материалов путем пропитки перед транспортировкой новым ОТВ является на сегодняшний день основополагающей и играет важную роль.

В борьбе с эндогенными пожарами использование водовоздушной пены показало, что ее основные недостатки кроются: в присутствии в качестве газовой фазы воздуха, а также в быстром распаде, вследствие чего происходит восстановление притока воздуха к очагу самовозгорания и выносу токсичных газов, стимулируя горение. Вследствие чего было предложено использовать в качестве газовой фазы инертные газы. Значительное распространение получили пены с добавлением азота. Тем не менее подача жидкого азота, имеющего температуру -196°C , требует точной дозировки из-за возможности замерзания воды [6].

Результаты многих исследований показали, что при увеличении влажности пористых материалов снижается скорость поглощения кислорода. Причиной этого является заполнение жидкостью пор и образование пленки из воды на поверхности пористых материалов, что задерживает проникновение кислорода вглубь материалов [6].

Повышение влажности пористых материалов приводит к замедлению процесса самовозгорания за счет потерь тепла, идущих на нагрев и испарение жидкости [6].

Таким образом, методическими подходами к повышению эффективности ОТВ при тушении пожаров и защиты пористых горючих материалов являются способы изменения физических свойств жидкости, применяющейся при пожаротушении:

1. Изменение поверхностного натяжения жидкостей:

- повышение поверхностного натяжения жидкостей позволяет создавать на поверхности пористых горючих материалов газонепроницаемую пленку, замедляющей процесс выделения газовой фазы при пиролизе и предотвращающей проникновение окислителя (кислорода воздуха) в пористую среду;

- уменьшение поверхностного натяжения жидкостей позволяет ОТВ лучше смачивать поверхность твердого пористого материала и быстрее проникать в пористую структуру горючего материала.

2. Изменение теплофизических характеристик ОТВ:

- увеличение теплопроводности ОТВ позволяет интенсифицировать процесс теплообмена в зоне горения;

- увеличение теплоемкости позволяет больше поглотить тепла из зоны горения.

3. Обеспечение термической стойкости компонентов ОТВ изолирующего действия позволяет сохранить целостность изолирующего слоя пены либо аэрогеля на поверхности горючих пористых материалов.

Методические подходы к пожаротушению и защите пористых горючих материалов можно представить в виде функциональной схемы (рис. 4).

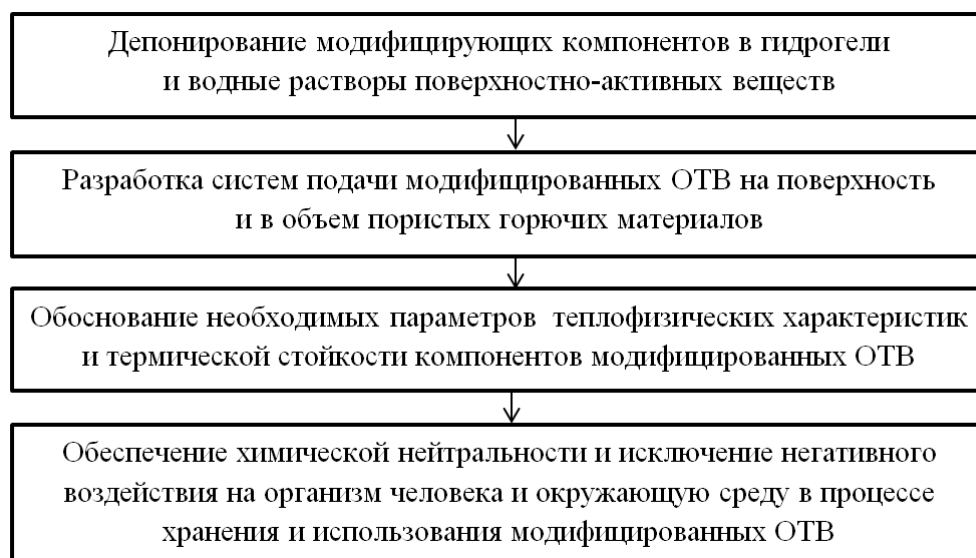


Рис. 4. Функциональная схема повышения эксплуатационных характеристик ОТВ для тушения пожаров и защиты пористых материалов

Перспективным является использование составов на водногелевой основе, содержащих частицы, способные поглощать большое количество тепла, затрачиваемого на фазовые переходы, происходящие при постоянной температуре.

Таким образом, задача повышения эффективности ОТВ для пожаротушения и защиты пористых горючих материалов от возгораний базируется на физико-химических и технологических подходах к управлению реологическими, теплофизическими и химическими свойствами компонентов ОТВ для обеспечения изолирующих свойств и интенсификации процессов теплообмена, а также обеспечения необходимой термической стабильности в зонах тления и пламенного горения пористых горючих материалов. Отдельным вопросом следует рассмотреть разработку средств подачи гелеобразующего вещества на поверхность и вглубь пористого материала, а также обеспечение безопасности для организма человека и окружающей среды.

Литература

1. Галишев М.А. Исследование пожарной опасности дисперсных систем // Вестник Воронежского института ГПС МЧС России. 2017. № 1 (22).
2. Дисперсные и пористые материалы, наноматериалы // Контрольно-аналитический центр «Аналитика и неразрушающий контроль-сервис». URL: <http://ank-service.ru/expert/dispersnye-i-poristye-materialy-nanomaterialy-2/> (дата обращения: 06.09.2018).
3. Анцупов Е.В., Родивилов С.М. Антипирены для пористых материалов // Пожаровзрывобезопасность. 2011. Т. 20. № 10.
4. Москаленко А.Д., Плут Т.В. Пожарные ситуации при перевозке каменных углей // Транспортное дело России. 2015. № 6.
5. Развитие процесса самонагрева в скоплениях угля под действием молекулярной диффузии кислорода / Е.П. Ютяев [и др.] // Уголь. 2018. № 10.
6. Галсанов Н.Л. Обоснование метода подавления очагов самовозгорания угля в шахтах инертизирующими составами с замораживанием частиц жидкости: дис. ... канд. техн. наук. Кемерово: Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», 2016. 150 с.



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

ПОКАЗАТЕЛЬ ВЕРХНЕГО И НИЖНЕГО ПРЕДЕЛЬНОГО УРОВНЯ ИНДИВИДУАЛЬНОГО ПОЖАРНОГО РИСКА ДЛЯ МОНГОЛИИ

**Н.Н. Брушлинский, доктор технических наук, профессор,
заслуженный деятель науки Российской Федерации;**

**Н.Л. Присяжнюк, кандидат технических наук, доцент,
заслуженный работник высшей школы Российской Федерации;**

Э. Байгалмаа.

Академия ГПС МЧС России

Статья посвящена установлению верхнего и нижнего предельного уровня индивидуального пожарного риска для Монголии, который на сегодняшний день не определен. Определение значений верхнего и нижнего уровней индивидуального пожарного риска будут способствовать непосредственному определению индивидуального пожарного риска. Обоснование индивидуального пожарного риска для Монголии крайне необходимо при решении управленческих задач по обеспечению пожарной безопасности объектов экономики и территорий этой страны. Показано, что верхний предельный уровень индивидуального пожарного риска должен составлять не более $1,7 \cdot 10^{-5}$, а нижнее его значение должно составлять не менее $1,7 \cdot 10^{-7}$. Это показано на основе математического анализа индивидуального пожарного риска в ряде стран, схожих по климатическим условиям с Монголией.

Ключевые слова: индивидуальный пожарный риск, предельный уровень риска, число погибших людей при пожарах, нулевая гипотеза

INDICATOR OF UPPER AND LOWER LIMITS OF INDIVIDUAL FIRE RISK FOR MONGOLIA

N.N. Brushlinskij; N.L. Prisyazhnyuk; E. Baigalmaa.

Academy of State fire service of EMERCOM of Russia

This article is devoted to the establishment of the upper and lower limit of the individual fire risk for Mongolia, which is currently not defined. The determination of the values of the upper and lower levels of the individual fire risk will facilitate the direct determination of the individual fire risk. The substantiation of individual fire risk for Mongolia is extremely necessary when solving managerial tasks to ensure fire safety of objects of the economy and territories of this

country. The article shows that the upper limit of an individual fire risk should be no more than $1.7 \cdot 10^{-5}$, and its lower value should be at least $1.7 \cdot 10^{-7}$. This is shown on the basis of a mathematical analysis of individual fire risk in a number of countries that are similar in climatic conditions to Mongolia.

Keywords: individual fire risk, limiting risk level, number of people killed during fires, null hypothesis

В России законодательно установлено численное значение индивидуального пожарного риска (ИПР), которое не должно превышать одной миллионной в год при размещении отдельного человека в наиболее удаленной от выхода из здания и сооружения точке ($1 \cdot 10^{-6}$). При этом ИПР трактуется как: риск, который может привести к гибели человека в результате воздействия опасных факторов пожара. Нормативная величина $1 \cdot 10^{-6}$ означает, что в России число погибших на пожарах не должно превышать 146 человек в год. Реально погибает гораздо больше, так, например, число погибших за 2017 г. составило 7 782 человека. Это означает, что указанный норматив меньше реальной действительности в 53 раза. В работах [1–4] показано, что для России установленный норматив пожарного риска является не обоснованным и носит декларативный характер.

Анализом статистических данных Монголии [5] за последние шесть лет установлены следующие численные значения ИПР: в 2012 г. – $23,0 \cdot 10^{-6}$; в 2013 г. – $17,7 \cdot 10^{-6}$; в 2014 г. – $19,7 \cdot 10^{-6}$; в 2015 г. – $19,0 \cdot 10^{-6}$; в 2016 г. – $17,9 \cdot 10^{-6}$, в 2017 г. – $13,8 \cdot 10^{-6}$. Это реальные риски, а каким должно быть установлено нормативное значение ИПР для Монголии? Чтобы ответить на этот вопрос в данной работе изначально устанавливаются верхний и нижний предельные значения уровней ИПР.

Оценка верхнего и нижнего уровня ИПР основанна на известном принципе ALARP [6]. Суть принципа ALARP заключается в том, что величина риска должна находиться «между двумя линиями»: верхний предельный уровень (ПУ) и нижний предельный уровень [7] (рис. 1). При этом конкретное значение риска должно быть разумным с практической точки зрения.

В общем, принцип ALARP разделен на три основных уровня (рис. 1):

- недопустимый (чрезмерный) риск – красная область;
- приемлемый (допустимый) риск – желтая область;
- пренебрежимый риск – зеленая область.

Таким образом, конкретное, а в перспективе, нормативное значение ИПР должно находиться в зоне «Пределы допустимого ИПР» (рис. 1).

Число погибших людей на пожарах в большей степени зависит от климатических условий страны [3]. В Монголии в зимний период количество пожаров на 70 % выше, чем в летний, весенний и осенний периоды. Для решения задачи по установлению верхнего и нижнего предельного уровня ИПР для Монголии проанализируем статистические показатели ряда стран.

В табл. 1 приведены данные о числе жертв в странах, схожих по климату с Монголией.

Из табл. 1 следует, что в Монголии наблюдается тенденция к снижению числа погибших. А насколько устойчива или неустойчива эта тенденция можно проверить по критерию согласия Пирсона (χ^2) [8].

Сформулируем нулевую гипотезу H_0 о том, что ряд чисел погибших на пожарах в Монголии (табл. 1) распределен равномерно, расхождение между числами объясняется случайными, несущественными причинами. В качестве альтернативной гипотезы H_1 принимается гипотеза о неравномерном распределении указанных чисел, они имеют устойчивую тенденцию к снижению (повышению), которая объясняется неслучайной, существенной причиной.

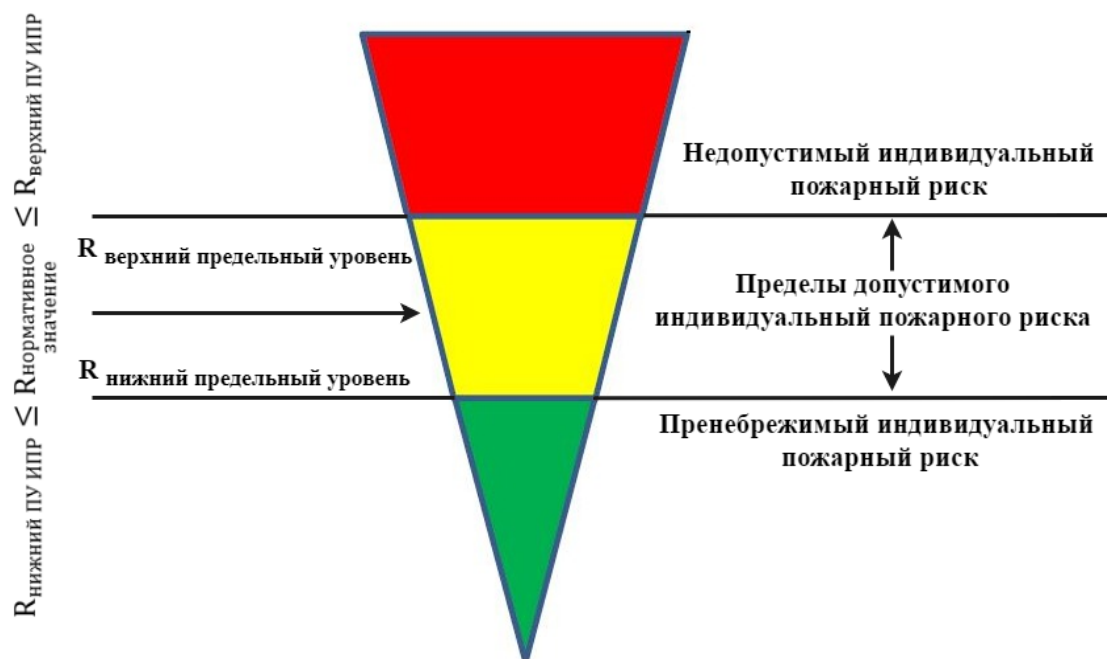


Рис. 1. Пределы допустимого ИПР, составленные по принципу ALARP

Таблица 1. Число погибших на пожарах за 2010–2016 [5, 9, 10]

Страна	Население, млн чел.	Число погибших							Среднее число	
		2010 г.	2011 г.	2012 г.	2013 г.	2014 г.	2015 г.	2016 г.	в год	на 100 тыс. чел.
Монголия	3,1	84 (2011 г.)	66 (2012 г.)	52 (2013 г.)	59 (2014 г.)	58 (2015 г.)	56 (2016 г.)	44 (2017 г.)	59,85	2,0
Киргизия	5,52	64	84	90	80	80	48	80	75,14	1,36
Швеция	9,8	96 (2007 г.)	115 (2008 г.)	124 (2009 г.)	102 (2011 г.)	103 (2012 г.)	96 (2013 г.)	110 (2015 г.)	≈ 107	2,5
Казахстан	17,5	528	488	518	455	401	386	371	449,57	2,4
Россия	146,8	13061	12 019	11 652	10 601	10 138	9 405	8749	10803	7,35

Расчеты проверки нулевой гипотезы H_0 для Монголии, а также для Киргизии, Швеции, Казахстана и России представлены ниже. В качестве проверки расчетов использовали ошибку первого рода. Вероятность ошибки первого рода обозначается α , которая называется уровнем значимости критерия. По ней определяем справедливость нулевой гипотезы H_0 .

Среднее количество людей, которые гибнут на пожарах в Монголии:

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n} = \frac{84 + 66 + 52 + 59 + 58 + 56 + 44}{7} = 59,85 \text{ чел.}$$

Есть некоторое расхождение указанных выше чисел от среднего числа (59,85). Это может объясняться случайными, несущественными причинами (в одном году было больше праздничных дней, чем в других годах; зима в каком-то году была более суровой, чем в другие годы и т.д.).

В табл. 2–7 показаны результаты расчетов проверки равномерности (неравномерности) распределения чисел по Монголии, Киргизии, Швеции, Казахстану и России.

Таблица 2. Процедура проверки равномерности распределения чисел табл. 1, относящихся к Монголии при помощи критерия χ^2 -квадрат

п/п	Эмпирические частоты	Теоретические частоты	(э-т)	(э-т) ²	(э-т) ² /Т	Э ²	Э ² /Т
1	84	59,85	24,14	582,87	9,73	7056	117,8
2	66	59,85	6,14	37,73	0,63	4356	72,77
3	52	59,85	-7,85	61,73	1,03	2704	45,17
4	59	59,85	-0,85	0,73	0,012	3481	58,15
5	58	59,85	-1,85	3,44	0,057	3364	56,20
6	56	59,85	-3,85	14,87	0,24	3136	52,39
7	44	59,85	-15,85	251,44	4,2	1936	32,34
Σ	419	419	X _н -квадрат=15,91				434,91

$$T^* = \bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n} = \frac{84 + 66 + 52 + 59 + 58 + 56 + 44}{7} = 59,85;$$

Контроль вычислений: 434,91–419=15,91; X_н-квадрат=15,91.

Таблица 3. Процедура проверки равномерности распределения чисел табл. 1, относящихся к Киргизии при помощи критерия χ^2 -квадрат

№ п/п	Эмпирические частоты	Теоретические частоты	(э-т)	(э-т) ²	(э-т) ² /Т	Э ²	Э ² /Т
1	64	75,14	-11,14	124,1	1,65	4096	54,509
2	84	75,14	8,85	78,44	1,04	7056	93,901
3	90	75,14	14,85	220,73	2,93	8100	107,79
4	80	75,14	4,85	23,59	0,31	6400	85,17
5	80	75,14	4,85	23,59	0,31	6400	85,17
6	48	75,14	-27,14	736,73	9,804	2304	30,66
7	80	75,14	4,85	23,59	0,313	6400	85,17
Σ	526	526	X _н -квадрат=16,38				542,38

$$T^* = \bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n} = \frac{64 + 84 + 90 + 80 + 80 + 48 + 80}{7} = 75,14;$$

Контроль вычислений: 542,38–526=16,38; X_н-квадрат=16,38.

Таблица 4. Процедура проверки равномерности распределения чисел табл. 1, относящихся к Швеции при помощи критерия χ^2 -квадрат

№ п/п	Эмпирические частоты	Теоретические частоты	(э-т)	(э-т) ²	(э-т) ² /Т	Э ²	Э ² /Т
1	96	106,57	-10,57	111,75	1,04	9216	86,47
2	115	106,57	8,42	71,04	0,66	13225	124,09
3	124	106,57	17,42	303,7	2,85	15376	144,27
4	102	106,57	-4,57	20,89	0,19	10404	97,62
5	103	106,57	-3,57	12,75	0,11	10609	99,54
6	96	106,57	-10,57	111,75	1,04	9216	86,47
7	110	106,57	3,42	11,75	0,11	12100	113,53
Σ	746	746	X _н -квадрат=6,04				752,04

$$T^* = \bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n} = \frac{96 + 115 + 124 + 102 + 103 + 96 + 110}{7} = 106,57;$$

Контроль вычислений: $752,0402 - 746 = 6,04$; X_n -квадрат = 6,04.

Таблица 5. Процедура проверки равномерности распределения чисел табл. 1, относящихся к Казахстану при помощи критерия X_n -квадрат

№ п/п	Эмпирические частоты	Теоретические частоты	(э-т)	(э-т) ²	(э-т) ² /Т	Э ²	Э ² /Т
1	528	449,57	78,42	6151,04	13,68	278784	620,11
2	488	449,57	38,42	1476,75	3,28	238144	529,71
3	518	449,57	68,42	4682,46	10,41	268324	596,84
4	455	449,57	5,42	29,46	0,065	207025	460,49
5	401	449,57	-48,57	2359,18	5,24	160801	357,67
6	386	449,57	-63,57	4041,32	8,98	148996	331,41
7	371	449,57	-78,57	6173,46	13,73	137641	306,16
Σ	3147	3147	X _n -квадрат=55,41				3202,41

$$T^* = \bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n} = \frac{528 + 488 + 518 + 455 + 401 + 386 + 371}{7} = 449,57;$$

Контроль вычислений: $3202,41 - 3147 = 55,41$; X_n -квадрат = 55,41.

Таблица 6. Процедура проверки равномерности распределения чисел табл. 1, относящихся к России при помощи критерия X_n -квадрат

№ п/п	Эмпирические частоты	Теоретические частоты	(э-т)	(э-т) ²	(э-т) ² /Т	Э ²	Э ² /Т
1	13061	10803,57	2257,42	5095984	471,69	1.71E+08	15790,12
2	12019	10803,57	1215,42	1477267	136,73	1.44E+08	13371,17
3	11652	10803,57	848,42	719831	66,62	1.36E+08	12567,06
4	10601	10803,57	-202,57	41035,18	3,79	1.12E+08	10402,23
5	10138	10803,57	-665,57	442985,3	41,003	1.03E+08	9513,43
6	9405	10803,57	-1398,57	1956002	181,05	88454025	8187,48
7	8749	10803,57	-2054,57	4221264	390,72	76545001	7085,15
Σ	75625	75625					76916,64

$$T^* = \bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n} = \frac{13061 + 12019 + 11652 + 10601 + 10138 + 9405 + 8749}{7} = 10803,57;$$

Контроль вычислений: $76916,64 - 75625 = 1291,64$; X_n -квадрат = 1291,64.

Таблица 7. Результаты проверки равномерности распределения чисел табл. 1, относящихся к Монголии, Киргизии, Швеции, Казахстану, России при помощи критерия X_n -квадрат (табл. 2–6)

Страна	Наблюдаемая квантиль распределения X_n -квадрат x_n^2	Число степеней свободы К*	Уровень значимости α^{**}	Нулевая гипотеза
Монголия	15,91	5	0,00711	Отвергается
Киргизия	16,38	5	0,00584	Отвергается
Швеция	6,04	5	0,30235	Принимается
Казахстан	55,41	5	0,00000	Отвергается
Россия	1291,64	5	0,00000	Отвергается

Примечания: $K^* = s - 1 - r$, где s – число групп выборки (все выборки содержат по 7 групп); r – число параметров, которые оценены по данным выборки (в каждой выборке оценивался один параметр – теоретическая частота); **Ошибка первого рода – вероятность отвергнуть нулевую гипотезу, когда она верна

Из табл. 7 следует, что нулевая гипотеза принимается для Швеции, а для других стран отвергается, при этом вероятность совершить ошибку первого рода – отвергнуть правильную гипотезу, с точностью до третьего знака после запятой – практически равна нулю [3, 8].

На рис. 2 представлен график проверки нулевых гипотез.

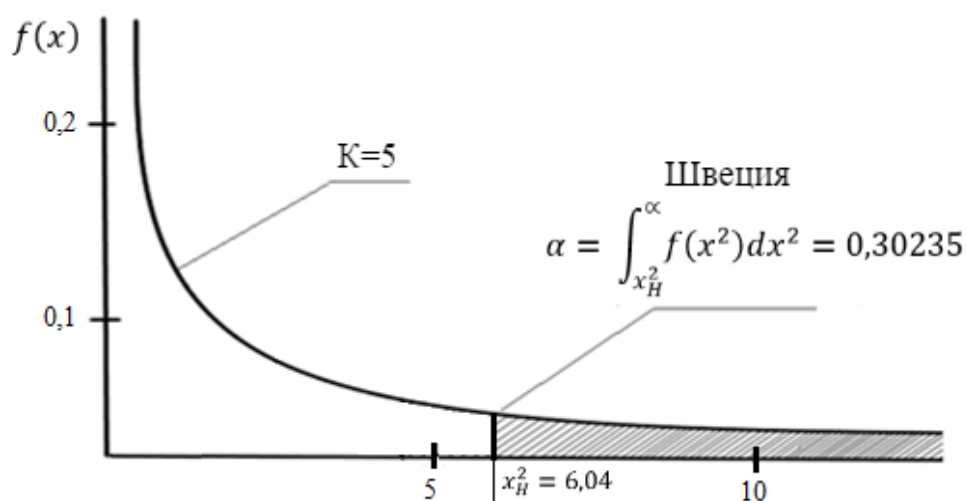


Рис. 2. График проверки нулевых гипотез (к табл. 7)

Число людей, погибших при пожарах в Швеции за 2007–2015 гг. стабилизировалось и составляло около 107 чел.

Стабильное число погибших, а, следовательно, и стабильный ИПР в Швеции, говорит нам о том, что общество такой уровень риска считает допустимым и приемлемым. Этот вывод важен, но напрямую такой вывод связывать с индивидуальным риском или его допустимыми пределами для Монголии не представляется целесообразным из-за экономической несопоставимости этих стран.

Не вдаваясь в глубокий экономический анализ, отметим только тот факт, что ВВП на душу населения в Швеции превышает этот же показатель в Монголии в 14 раз. Поэтому в дальнейшем исключим Швецию из сравнительного анализа ИПР.

Что касается других стран, то принимается гипотеза о неравномерном распределении индивидуального риска и установлена тенденция к снижению, которая объясняется неслучайной, существенной причиной.

Для проверки надежности и установления иных статистических характеристик исследуемых ИПР выбранного ряда стран, определим их доверительные интервалы с определенной доверительной вероятностью (0,05), используя статистические данные которые приведены в табл. 8.

Таблица 8. Число погибших при пожарах в расчете на 1 млн жителей за 2010–2016 гг. [9, 10]

Страна	Население, млн чел.	Число погибших людей в расчёте на 1 млн жителей (2010–2016 гг.) ИПР ($\cdot 10^{-6}$)						
		2010 г.	2011 г.	2012 г.	2013 г.	2014 г.	2015 г.	2016 г.
Монголия	3,1	29,9 (2011 г.)	23,0 (2012 г.)	17,7 (2013 г.)	19,7 (2014 г.)	19,0 (2015 г.)	17,9 (2016 г.)	13,8 (2017 г.)
Киргизия	5,52	11,59	15,21	16,3	14,49	14,49	8,69	14,49
Казахстан	17,5	30,17	27,88	29,6	26	22,9	22,05	21,2
Россия	146,8	88,87	81,87	79,37	72,21	69,05	64,06	59,59

Для линейного распределения, которое очевидно из данных табл. 8, найдем параметры уравнения регрессии (a , b). При этом используем расчетные значения, приведенные в табл. 9.

Таблица 9. Расчетные данные для нахождения параметров уравнения регрессии ИПР для Монголии

Год	Номера ряда (x)	ИПР ($\cdot 10^{-6}$) (y)	x·y	x ²	y ²	y(x)	e ²	(x-x _{ср}) ²	(y-y _{ср}) ²	(y-y(x))/y
2011	1,0	29,9	29,9	1,0	894,01	26,27	13,16	9,0	95,2	12,1 %
2012	2,0	23,0	46	4,0	529,0	24,22	1,509	4,0	8,16	5,3 %
2013	3,0	17,7	53,1	9,0	313,29	22,18	20,12	1,0	5,96	25,3 %
2014	4,0	19,7	78,8	16,0	388,09	20,14	0,19	0,0	0,196	2,2 %
2015	5,0	19,0	95	25,0	361,0	18,10	0,81	1,0	1,306	4,7 %
2016	6,0	17,9	107,4	36,0	320,41	16,057	3,396	4,0	5,03	10,3 %
2017	7,0	13,8	96,6	49,0	190,4	14,014	0,045	9,0	40,23	1,6 %
Σ	28	141	506,8	140	2996,24	141	39,2	28	156,09	0,61
Среднее	4,0	20,14	72,4	20,0	428,034	20,14	5,6	4,0	22,3	0,08

Следовательно, имеем:

$$b = \frac{\overline{yx} - \bar{y} \cdot \bar{x}}{\overline{x^2} - (\bar{x})^2} = \frac{72,4 - 20,14 \cdot 4}{20 - 4^2} = \frac{-8,16}{4} = -2,04;$$

$$a = \bar{y} - b\bar{x} = 20,14 - (-2,04) \cdot 4 = 28,3.$$

Уравнение регрессии по экспериментальным значениям («экспериментальная» регрессия): $y = 28,3 - 2,04x$.

Стандартные ошибки x и y:

$$\sigma_x = \sqrt{\overline{x^2} - \bar{x}^2} = \sqrt{20 - 4^2} = 2;$$

$$\sigma_y = \sqrt{\overline{y^2} - \bar{y}^2} = \sqrt{428,034 - 20,14^2} = 4,73.$$

Коэффициенты корреляции и детерминации:

$$r_{xy} = \frac{\overline{yx} - \bar{y} \cdot \bar{x}}{\sigma_x^2} \cdot \frac{\sigma_x}{\sigma_y} = \frac{72,4 - 20,14 \cdot 4}{20 - 4^2} \cdot \frac{2}{4,73} = -0,865;$$

$$R^2 = r_{xy}^2 = 0,7482 \text{ или } 74,82 \%.$$

Корреляция -0,86 говорит о высокой и обратной зависимости между показателями, коэффициент детерминации 0,7396 – показывает, что X на 73,96 % объясняет Y.

Надежность коэффициентов регрессии по критерию Стьюдента:

$$S_b = \sqrt{\frac{\Sigma(y - \hat{y}_x)^2}{\Sigma(x - x_{ср})^2 \cdot (n-2)}} = \sqrt{\frac{39,24}{28 \cdot 5}} = 0,53;$$

$$S_a = \sqrt{\frac{\overline{x^2} * \sum (y - \hat{y}_x)^2}{\sum (x - x_{cp})^2 * (n-2)}} = \sqrt{\frac{20 * 39,24}{28 * 5}} = 2,36;$$

$$t_b = \frac{b}{S_b} = \frac{-2,04}{0,53} = -3,84;$$

$$t_a = \frac{a}{S_a} = \frac{28,3}{2,36} = 11,99.$$

Фактическое значение критерия: 2,44.

Доверительные интервалы для коэффициентов регрессии:

$$b: (b - t_{кр} * S_b \quad b + t_{кр} * S_b) \rightarrow (-2,04 - 2,44 * 0,53 \quad -2,04 + 2,44 * 0,53);$$

$$b: (-3,33 \quad -0,75);$$

$$a: (a - t_{кр} * S_a \quad a + t_{кр} * S_a) \rightarrow (28,3 - 2,44 * 2,36 \quad 28,3 + 2,44 * 2,36);$$

$$a: (22,54 \quad 34,05).$$

«Нижняя» регрессия: $y = 22,54 - 3,33x$.

«Верхняя» регрессия: $y = 34,05 - 0,75x$.

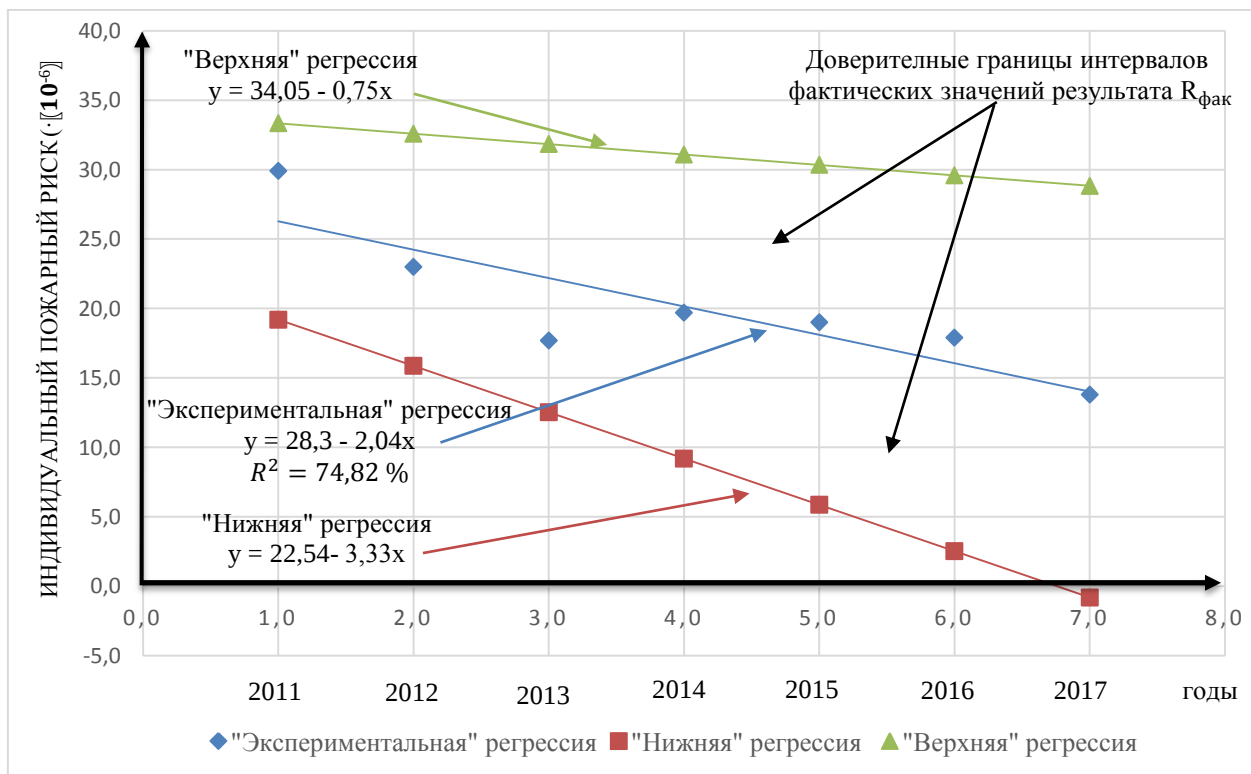


Рис. 3. Эмпирическая линия регрессии и границы 95 % доверительной области для Монголии в период с 2011 по 2017 гг.

Расчетные значения статистических характеристик ИПР ряда стран, полученных аналогичным образом, представлены в табл. 10.

Таблица 10. Результаты расчетов статистических характеристик ИПР по Монголии, Киргизии, Казахстану и России

Страна	Средний темп ИПР	Коэффициенты детерминации	Уравнения регрессии для доверительных интервалов	Тенденции тренда	Средние значения доверительных интервалов ($\cdot 10^{-6}$)
Монголия (2011–2017 гг.)	Средний темп снижения 12 %	$R^2 = 74,82 \%$	«Вехрная» регрессия $y=34,05-0,75x$ «Экспериментальная» регрессия $y=28,3-2,04x$ «Нижняя» регрессия $y=22,53-3,33x$	Снижение	$\bar{X}_{\text{нижний}} = 9,19 \leq \bar{X}_{\text{экс}} = 20,1 \leq \bar{X}_{\text{верхний}} = 31,08$
	Средний темп снижения 4,76 % (2010–2016 гг.)	$R^2 = 44,86 \%$ (2010–2016 гг.)			
Киргизия (2010–2016 гг.)	Средний темп снижения 1,14 %	$R^2 = 3,22 \%$	Вехрная регрессия $y=20,267+1,076x$ «Экспериментальная» регрессия $y=14,487-0,216x$ Нижняя регрессия $y=8,707-1,509x$	Низкое снижение	$\bar{X}_{\text{нижний}} = 2,67 \leq \bar{X}_{\text{экс}} = 13,6 \leq \bar{X}_{\text{верхний}} = 24,57$
Страна	Средний темп ИПР	Коэффициенты детерминации	Уравнения регрессии для доверительных интервалов	Тенденции тренда	Средние значения доверительных интервалов ($\cdot 10^{-6}$)
Казахстан (2010–2016 гг.)	Средний темп снижения 6,2 %	$R^2 = 89,87 \%$	Вехрная регрессия $y=34,802-1,024x$ «Экспериментальная» регрессия $y=32,153-1,617x$ Нижняя регрессия $y=29,504-2,209x$	Снижение	$\bar{X}_{\text{нижний}} = 20,66 \leq \bar{X}_{\text{экс}} = 25,7 \leq \bar{X}_{\text{верхний}} = 30,7$
Россия (2010–2016 гг.)	Средний темп снижения 6,7 %	$R^2 = 99,11 \%$	Вехрная регрессия $y=94,963-4,292x$ «Экспериментальная» регрессия $y=92,743-4,789x$ Нижняя регрессия $y=90,523-5,285x$	Снижение	$\bar{X}_{\text{нижний}} = 69,38 \leq \bar{X}_{\text{экс}} = 73,6 \leq \bar{X}_{\text{верхний}} = 77,7$

Анализ полученных результатов ИПР ряда стран показал, что:

- во-первых, стационарное значение индивидуального риска (с доверительной вероятностью 0,05) наблюдается только в Швеции, которое общество считает допустимым и приемлемым (табл. 7), но его значение, исходя из экономических соображений, не может служить каким-либо ориентиром для Монголии;

- во-вторых, в Монголии и в странах, близких по климатическим условиям с ней, (Киргизия, Казахстан, Россия) наблюдается неравномерное распределение (с доверительной вероятностью 0,05) индивидуального риска (табл. 7), с незначительной тенденцией снижения. Наименьший среднегодовой темп снижения (табл. 10) наблюдается в Киргизии (1,14 %), а наибольший – в Монголии (12 %). При таких незначительных (кроме Монголии) темпах снижения ИПР можно в определенной степени говорить, что и в этих странах он признается обществом допустимым;

- в-третьих, полученные характеристики статистических показателей ИПР по ряду стран (уравнения регрессии, коэффициенты детерминации, доверительные границы (интервалы) (табл. 10) свидетельствуют о достаточно высоких, надежных значениях

исследуемой величины и могут быть использованы для достижения поставленной цели – определения верхнего и нижнего пределов (уровней) ИПР для Монголии.

Заметим, что по равномерности распределения чисел ИПР в Монголии и Киргизии они наиболее близки с уровнями значимости (α) 0,00711 и 0,00584 соответственно (табл. 7). При этом если из числового ряда ИПР Монголии исключить данные за 2017 г. (в этом году было самое высокое неслучайное влияние), то и по темпу снижения риска они будут наиболее близкими и составлять для Монголии – 4,76 %, а для Киргизии – 1,14 % (Казахстан – 6,2 %. Россия – 6,7 %), а коэффициенты детерминации составят 45,06 % и 3,22 % соответственно (Казахстан – 89,87 %, Россия – 99,11 %). Из этого следует, что по ИПР Монголия и Киргизия являются наиболее близкими.

Учитывая это, предлагается в качестве верхнего предельного уровня ИПР ($x^{\text{впу}}$) для Монголии принять среднее значение, определяемое как:

$$x^{\text{впу}} = x_{\text{среднее}} = \frac{(\bar{x}_{\text{нижняя}}^{\text{м}} + \bar{x}_{\text{нижняя}}^{\text{к}} + \bar{x}_{\text{верхняя}}^{\text{м}} + \bar{x}_{\text{верхняя}}^{\text{к}})}{4},$$

где $x^{\text{впу}} = x_{\text{среднее}}$ – верхний предельный уровень индивидуального пожарного риска для Монголии; $\bar{x}_{\text{нижняя}}^{\text{м}} + \bar{x}_{\text{нижняя}}^{\text{к}}$ – нижний, средний доверительный интервал ИПР Монголии и Киргизии соответственно (табл. 10); $\bar{x}_{\text{верхняя}}^{\text{м}} + \bar{x}_{\text{верхняя}}^{\text{к}}$ – верхний средний доверительный интервал ИПР Монголии и Киргизии соответственно (табл. 10).

Тогда:

$$x^{\text{впу}} = \frac{(9,19 \cdot 10^{-6} + 2,67 \cdot 10^{-6} + 31,08 \cdot 10^{-6} + 24,57 \cdot 10^{-6})}{4} = 16,88 \cdot 10^{-6} \approx 1,7 \cdot 10^{-5}.$$

Нижний предельный уровень ИПР рекомендуется устанавливать на два порядка ниже верхнего [11, 12]. Тогда нижний предельный уровень ИПР для Монголии должен быть $1,7 \cdot 10^{-7}$.

Следовательно, придерживаясь принципа ALARP конкретное (нормативное) значение ИПР $R_{\text{н}}$ должно находиться в пределах:

$$1,7 \cdot 10^{-7} \leq R_{\text{н}} \leq 1,7 \cdot 10^{-5}.$$

Конкретное значение $R_{\text{н}}$ может быть определено после комплексного социально-экономического анализа Монголии и ряда других стран, что будет являться предметом дальнейших исследований.

Литература

1. Брушлинский Н.Н., Соколов С.В. Современные проблемы обеспечения пожарной безопасности в России: монография. М.: Акад. ГПС МЧС России, 2014. 178 с.
2. Брушлинский Н.Н., Соколов С.В. Об усовершенствовании «Технического регламента о требованиях пожарной безопасности» // Пожаровзрывобезопасность. 2012. Т. 21. № 3. С. 9–16.
3. Харисов Г.Х., Фирсов А.В. Обоснование нормативного значения и расчетной величины индивидуального пожарного риска в зданиях и сооружениях: монография. М.: Акад. ГПС МЧС России, 2014. 225 с.
4. Гражданкин А.И., Лисанов М.В., Пчельников А.В. Основные принципы нормирования допустимого техногенного риска: материалы X Междунар. науч.-практ. конф. по проблемам защиты населения и территорий от чрезвычайных ситуаций. М.: ЦСИ МЧС России, 2005.
5. Анализ обстановки с пожарами и последствиями от них на территории Монголия за 2017 год. Улан-Батор: Департамент надзорной деятельности АГЧС по Монголии, 2017. 36 с.

6. Быков А.А., Акимов В.А., Фалеев М.И. Нормативно-экономические модели управления риском // Российское научное общество анализа риска: юбилейный сборник. М.: ЗАО ФИД «Деловой экспресс», 2013. С. 55–67.

7. Предельно допустимые уровни риска (пояснительная записка) // Российское научное общество анализа риска: юбилейный сборник. М.: ЗАО ФИД «Деловой экспресс», 2013. С. 14–19.

8. Корниенко В.С. Математическая статистика. Решение задач по теме: «Проверка статистических гипотез»: метод. разработка. Волгоград: Волгогр. гос. сел.-хоз. акад., 2010. 68 с.

9. Brushlinsky N.N., Ahrens M., Sokolov S.V., Wagner P. World Fire statistics. Report № 22 // Center of Fire statistics – International Association of Fire and Rescue services. 2017. 59 p.

10. Bruslinsky N.N., Ahrens M., Skolov S., Wagner P. World Fire Statistics Report № 20. Center of Fire Statistics. International association of fire and rescue services, 2015.

11. Декларация Российского научного общества анализа риска «О предельно допустимых уровнях риска» // Российское научное общество анализа риска: юбилейный сборник. М.: ЗАО ФИД «Деловой экспресс», 2013. С. 13.

12. Востоков В.Ю. Оценка и прогноз риска чрезвычайных ситуаций в оперативном порядке. М.: Науч. изд-во ТВП; Редакция ОПиПМ, 2016. 312 с.

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ РИСКОВ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ПОЖАРОВ ПРИ АВАРИЙНЫХ РАЗЛИВАХ НЕФТЕПРОДУКТОВ

А.В. Квашнин;

Р.В. Кошкарров;

М.Е. Бабич, кандидат медицинских наук.

**Дальневосточная пожарно-спасательная академия –
филиал Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС**

Статья посвящена рассмотрению различных подходов к прогнозированию рисков возникновения пожаров при аварийных разливах нефтепродуктов. Детально рассмотрены традиционные методы, такие как метод логического «дерева», инженерный подход. Отдельное внимание уделено аппарату нечетких множеств, который позволяет учесть широкий спектр факторов и их влияние на возникновение риска возгорания при разливах нефти.

Ключевые слова: пожар, нефть, моделирование, риск, фактор

FORECASTING THE RISKS OF FIRES IN CASE OF EMERGENCY OIL SPILLS

A.V. Kvashnin; R.V. Koshkarov; M.E. Babich.

**Far East Fire and Rescue Academy – branch of the Saint-Petersburg of State fire service
of EMERCOM of Russia**

The article is devoted to the consideration of various approaches to forecasting the risks of fires in emergency oil spills. Traditional methods are considered in detail, such as the logical tree method, the engineering approach. Particular attention is paid to the apparatus of fuzzy sets, which allows to take into account a wide range of factors and their influence on the occurrence of a fire hazard during oil spills.

Keywords: fire, oil, modeling, risk, factor

Согласно исследованиям Организации Объединенных Наций, во многих регионах и государствах мира техногенные и природные катастрофы причиняют ущерб, который достигает отметки приблизительно 2–4 % ВВП страны [1].

Нефть и нефтепродукты наряду с пестицидами признаны в мире наиболее загрязняющими веществами. Сложно переоценить значение нефти для современной хозяйственной системы. Она представляет собой важное сырье для производства топлива, синтетических материалов, занимает ключевое место в топливно-энергетическом балансе, продукты переработки нефти используются для производства тепла и электроэнергии. Использование нефти влияет на уровень экономического развития современных общественных систем [2]. Вместе с тем следует отметить, что в процессах бурения скважин, добычи, транспортировки и хранения нефти, конденсата нефтепродуктов часто наблюдаются разливы нефти, которые наносят огромный вред окружающей среде и провоцируют повышенные риски возникновения пожаров.

Пожары, возникающие на предприятиях по хранению и переработке нефти и нефтепродуктов, в производственных помещениях, где используются горючие жидкости, на транспорте сопровождаются быстрым распространением, высокой температурой, плотным тепловым излучением и задымлением. Взрывы паровоздушной смеси приводят к частичному или полному разрушению резервуаров, технологического оборудования и конструкций [3]. Убытки от пожаров включают в себя убытки от уничтожения и повреждения технологического оборудования вследствие избыточного давления при взрыве, потери механических свойств под действием высокой температуры в зоне горения или перегрева от теплового излучения пламени.

Для разрешения вопросов пожарной безопасности и прогнозирования рисков возникновения пожаров при аварийных разливах нефтепродуктов необходимо знать и обладать навыками, позволяющими предвидеть поведение пожара в определенных условиях, проводить анализ и оценку обстановки. Составление прогноза развития пожара предусматривает необходимость использования специализированных методов расчета скорости и направления распространения пламени, длительности развития пожара, перемены в температуре и составляющих газовой среды, насыщенности газообмена и других характеристик пожара.

Каждый отдельный пожар – это единственная в своем роде ситуация, которая зависит от различных обстоятельств и явлений, имеющих случайный характер, например, изменения направления и скорости ветра во время пожара и т.д. Поэтому с высокой степенью достоверности предвидеть развитие пожара во всех деталях практически невозможно, в связи с чем решение проблемы многофакторного управления (к которой относится и комплексная оценка пожарного риска) является нетривиальной задачей [4].

Таким образом, с учетом вышеизложенного, значительная вероятность возникновения аварийных ситуаций непредсказуемых масштабов, высокая частота полного квазимгновенного разрушения вертикальных стальных резервуаров хранения нефти, необходимость учета всех факторов неопределенного характера при принятии решений обуславливает актуальность дальнейшего совершенствования методов и программно-алгоритмических средств прогнозирования рисков возникновения пожаров при аварийных разливах нефтепродуктов и подтверждает в целом значимость выбранной темы исследования.

Методика оценки уровней безопасности нефтегазовых промыслов на основе анализа и оценки риска аварий была разработана в 90-х гг. прошлого века в США и на сегодняшний день активно развивается учеными многих стран, в частности Великобритании, Нидерландов, Франции. На данный момент она достигла того уровня развития, когда результаты ее практического применения существенно влияют на процесс эксплуатации установок по добыче и хранению нефтепродуктов.

Научными исследованиями по вопросам определения уровня риска при хранении нефтепродуктов в резервуарных парках занимались такие известные ученые, как В.А. Акимов, А.Н. Елохина, А.Е. Басманов, А.М. Козлитин, В.А. Владимиров и др.

Экологические опасности при эксплуатации магистральных газопроводов, причины аварийных ситуаций и разрушений магистральных трубопроводов, негативное влияние нефтепродуктов на окружающую среду, проблемы капитального ремонта трубопроводов исследованы и представлены в работах А.Н. Мандрика, Е.И. Крыжановского, Р.М. Говдяка, М. Кривенко, Я. Середницкого, В.И. Андрейцева, И. Балюка, А.Ф. Бабаджанова, В.М. Василюка, В.А. Борисенко, В.Д. Мусийко.

Однако, несмотря на большое количество работ, которые определенным образом касаются проблем управления пожарной безопасностью в процессе аварийного разлива нефти, вопросы прогнозирования возникновения рисков требуют специального внимания и проведения дополнительного исследования. Кроме того, анализ имеющихся работ свидетельствует о том, что учеными уделяется недостаточное внимание сравнению различных методов определения таких рисков.

Таким образом, цель статьи заключается в исследовании подходов к прогнозированию рисков возникновения пожаров при аварийных разливах нефтепродуктов и перспектив их развития.

Анализ существующих научных источников, экспертных выводов и отчетов позволяет констатировать тот факт, что на сегодняшний день используется несколько методов для прогнозирования рисков возникновения пожаров при аварийных разливах нефтепродуктов. Рассмотрим их более подробно.

Одним из самых распространенных методов является метод логического «дерева» (рисунок). Предназначение логического «дерева» событий заключается в графическом представлении общего развития потенциальных аварийных ситуаций и катастроф с четкой идентификацией причинно-следственных взаимосвязей событий в зависимости от уровня опасности объекта, степени риска и с учетом воздействия на него защитных мероприятий, что в целом составляет основу оценки рисков [5].

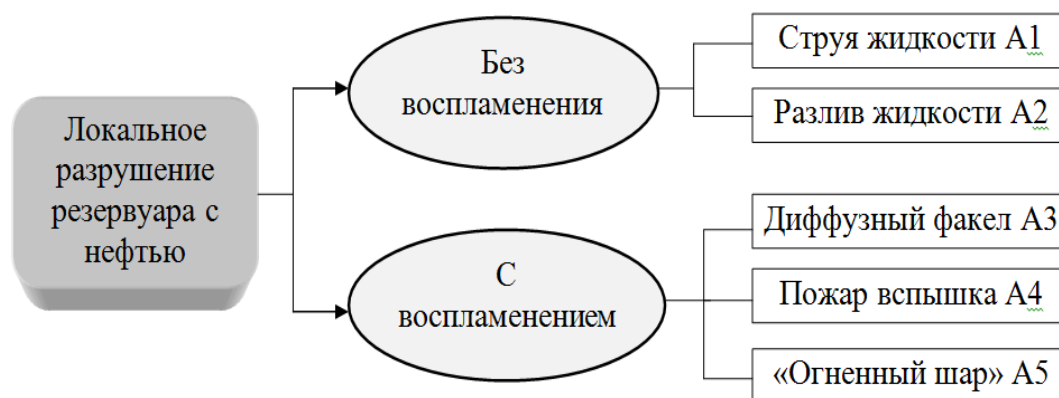


Рис. Схема «дерева» событий аварийной ситуации резервуара с нефтепродуктами

В процессе построения логического «дерева» событий обычно применяются:

- возможные вероятности реализации обстоятельств катастрофы по различным веткам логического «дерева» событий и перехода аварийных ситуаций на другой этап развития;
- вероятность срабатывания соответствующих средств предотвращения или локализации аварий;
- вероятность повреждения технологического оборудования и сооружений промышленного назначения, расположенных в зоне аварии, вследствие влияния на них опасных факторов пожара.

Для выполнения прогноза вероятности возникновения риска появления пожаров необходимо:

- отразить взаимное расположение (по иерархическому принципу) «вершины» и «ветвей» «дерева причин и опасностей»;

- определить и отразить взаимные функциональные связи между элементами этого «дерева» и записать соответствующий логический символ «и» или «или» (символ «и» записывают в случае, когда, например, для возникновения пожара необходимо наступление одновременно двух событий; символ «или» записывают в случае, когда, например, для возникновения пожара достаточно хотя бы одного события в процессе аварийного разлива нефти);

- разработать аналитические соотношения для выполнения расчетов по определению величин вероятности риска возникновения пожара.

Величиной, характеризующей риск (то есть степень потенциальной опасности) возникновения пожара (R_n), является вероятность реализации указанных выше опасных событий ($P_{o.c.}$) в течение определенного времени (например, за год). То есть $Rn \approx P_{o.c.}$ за год.

Для построения аналитических соотношений для определения возможной величины риска возникновения пожара (R_n) вследствие аварийного разлива нефти также возможно использование теоремы сложения вероятностей и теоремы умножения вероятностей. При этом теорему сложения вероятностей следует применять в случае, когда взаимные функциональные связи обозначены логическим символом «или», а теорему умножения вероятностей – в случае, когда взаимные функциональные связи указаны логическим символом «и».

Также для прогнозирования рисков возникновения пожаров при аварийных разливах нефтепродуктов широко используется инженерный подход.

В ходе оценки вероятности возгорания возможно возникновение двух ситуаций. В первом случае может иметь место устаревшая или традиционная технология. В этом случае целесообразно воспользоваться аналитическими данными, которые отражают работоспособность технологии, вероятность ее отказов и возникновения аварийных ситуаций. Располагая статистическими данными о нескольких отдельных элементах технологии, можно использовать для оценки риска вероятностный анализ, который позволит установить возможность возникновения чрезвычайной ситуации [6].

В случае, когда необходимо провести анализ безопасности новой технологии, целесообразно использовать «дерево отказов» и «дерево событий».

Однако сегодня сложность оценки и прогнозирования риска возгорания при аварийных разливах нефти заключается в том, что с увеличением количества факторов, которые необходимо принимать во внимание, повышается степень нечеткости или неточности. Нечеткость выражается в том, что в определенный момент времени не всегда возможно достоверно оценить или измерить все входящие детерминанты, также нечеткость может возникать в результате неопределенности самого характера входящей величины [7].

Эти обстоятельства значительно затрудняют использование методов оценки риска пожара при аварийных разливах нефтепродуктов, основанные на расчетно-вероятностных зависимостях. Также существенным вопросом является подтверждение адекватности полученных прогнозных оценок.

В связи с этим перспективным направлением в системах оценки риска, позволяющим компенсировать неопределенности, является использование различных методов искусственного интеллекта. С целью повышения эффективности принимаемых решений в условиях неопределенности представляется целесообразным использовать методы, базирующиеся на правилах нечеткой логики. Основу таких методов составляют нечеткие множества, кроме того, они предполагают использование лингвистических величин и выражений для описания стратегий принятия решений [8].

Нечеткое множество (fuzzy set) является совокупностью элементов, отличающихся произвольной природой, по которым не представляется возможным с полной

определенностью установить принадлежность к рассматриваемой совокупности в данном множестве [9].

Управление на основе нечетких множеств предполагает использование системы нечеткого вывода.

Алгоритм построения системы нечеткого вывода включает в себя:

- фазификацию входящих переменных;
- создание совокупности нечетких правил;
- проведение агрегирования подусловий;
- активацию подвыводов;
- аккумуляцию выводов;
- дефазификацию выходящих переменных.

Рассмотрим более подробно особенности использования нечетких множеств для прогнозирования рисков возникновения пожаров при аварийных разливах нефтепродуктов. Фазификация в данном случае предполагает определение нечетких множеств, которые характеризуют входные переменные, а именно: вероятность возникновения аварии и вероятность начала пожара. Такие множества обычно описываются характеристическими функциями, которые принимают значения в интервале от 0 до 1 и определяют уровень достоинства соответствующего фактора. Иногда характеристические функции могут быть определены объективно на основе статистических данных, иной раз необходимо привлекать экспертов для проведения оценки (встречается чаще всего).

Входящие и выходящие переменные, соответствующие им нечеткие лингвистические переменные, необходимые для оценки и анализа возникновения риска пожара, приведены в табл. 1.

Таблица 1. Переменные, входящие в нечеткую систему оценки риска

Наименование переменной	Значения	Тип	Лингвистическая переменная
Вероятность присутствия	0,1...1	Входящая	Присутствие (Presence)
Вероятность поражения, %	0 ... 100 %	Входящая	Поражение (Progenies)
Вероятность возгорания, 1/год	10–2...0,1	Входящая	Возгорание (Fire)
Вероятность аварии, 1/год	10–6...10–4	Входящая	Инцидент (Incident)
Индивидуальный риск, R_i , 1/год	10–8...10–4	Исходящая	Риск (Fuzzy risk)

В дальнейшем для каждой лингвистической переменной задается набор термов и одновременно соответствующие каждому из них нечеткие множества.

В состав лингвистической переменной «индивидуальный риск» (Fuzzy_risk) входит три термина:

Fuzzy_risk={приемлемый (Acceptable), допустимый (Satisfy), недопустимый (Unacceptable)}.

Нечеткие множества, которые соответствуют термам лингвистической переменной «индивидуальный риск» (Fuzzy_risk), определяются с использованием характеристических функций, которые, в свою очередь, задаются следующими аналитическими выражениями [10]:

$$\text{Fuzzy_risk (приемлемый)} = 1 \times 10^{-6} R_i + 1;$$

$$\text{Fuzzy_risk (допустимый)} = 1,05 \times 10^6 R_i - 0,05, \quad R_i < 10^{-6}; \\ -1 \times 10^4 R_i + 1, \quad R_i > 10^{-6}$$

$$\text{Fuzzy_risk (недопустимый)} = 0,01 \times 10^{-6} R_i - 0,01,$$

где R_i – индивидуальный риск, находящийся в диапазоне $[10^{-8} \dots 10^{-4}]$, что соответствует требованиям [11].

Значения индивидуального риска меньше 10^{-8} , которые лингвистически определяются как крайне незначительные, не учитываются в диапазоне значений выходящей переменной, так как создаваемая нечеткая система ориентирована на идентификацию контролируемого и недопустимого риска. Ошибка в области значений крайне малого риска не является критической, однако, если необходимо, можно увеличить диапазон значений и добавить новые правила на этапе композиции.

Характерные функции демонстрируют как в пределах одного и того же диапазона значений переменной Fuzzy_risk изменяется вес недопустимого, приемлемого и допустимого значения риска.

Точки Fuzzy_risk (Индивидуальный риск= 10^{-8})=приемлемый (Acceptable), Fuzzy_risk (Индивидуальный риск= 10^{-6})=допустимый (Satisfy) и Fuzzy_risk (Индивидуальный риск= 10^{-4})=недопустимый (Unacceptable) устанавливают четкие ориентиры для оценивания риска в нечетком множестве возможных решений.

Аналогичным образом определяются и такие нечеткие переменные как: поражение (Porogenie), возгорание (Fire), инцидент (Incident), и присутствие (Presence). Вероятность аварии (Incident= 10^{-6})=низкая (Low), вероятность аварии (Incident= 10^{-5})=средняя (Middle), вероятность аварии (Incident= 10^{-4})=частая (High).

Вероятность возгорания (Fire= 10^{-2})=редкая (Rarely), вероятность возгорания (Fire=0,1)=частая (Often).

Поражения (Porogenie)={легкое (Light), среднее (Medium), тяжелое (Hard), смертельное (Death)}.

Присутствие (Presence)={обычное (Usually), постоянное (Constant)}.

Переходя к этапу композиции, необходимо формализовать условия соответствий (правила) между выходящими и входящими нечеткими переменными. Для структуры правил установлен формат «if-then-else», а соответствующая семантика определяется знаниями и навыками экспертов. Список правил может быть пополнен или изменен в процессе отработки, тестирования и отладки алгоритма принятия решения.

Подводя итоги проведенному исследованию, можно сделать следующие выводы. Наиболее адаптированным и перспективным математическим аппаратом, который позволяет реализовать научную задачу прогнозирования рисков возникновения пожаров при аварийных разливах нефтепродуктов в условиях неопределенности и многофакторности, по мнению авторов, является аппарат теории нечетких множеств, который позволяет включить в данную область методологию и приемы системного анализа. Принимая во внимание большой динамический диапазон факторов, которые участвуют в формировании риска пожара при разливе нефтепродуктов, с целью выбора достоверного метода оценивания индивидуального пожарного риска, представляется целесообразным применять алгоритм нечеткого вывода Мамдани. При разработке метода оценки индивидуального пожарного риска, который основывается на теории нечетких множеств, можно использовать универсум переменных, обладающих значительным диапазоном значений, таких как вероятность аварии и риск.

Литература

1. Котлобовский И.Б. Совершенствование механизмов компенсации ущерба от рисков природных и техногенных катастроф // Аналитический вестник Совета Федерации Федерального Собрания Российской Федерации. 2017. № 20 (677). С. 6–17.
2. Малкина В.Д., Турбин А.И. Разливы нефти как сфера международного сотрудничества в борьбе с загрязнением экосреды // Экологический вестник России. 2017. № 3. С. 19–23.
3. Experimental study of continuously released liquid fuel spill fires on land and water in a channel / Li Yuntao [et al] // Journal of loss prevention in the process industries. 2018. Vol. 52. P. 21–28.

4. Условия пожара пролива нефтепродуктов на теплоизоляцию резервуаров / В.С. Мельников [и др.] // Пожаровзрывобезопасность. 2017. Т. 26. № 11. С. 31–40.
 5. Зарипова А.Р., Ганиева А.А., Колесник А.А. Анализ проблем прогнозирования разливов нефтепродуктов в резервуарных парках // Нефтегазовое дело. 2017. Т. 15. № 2. С. 192–196.
 6. Nishino T., Imazu Yu. A computational model for large-scale oil spillfires on water in tsunamis: Simulation of oil spill fires at Kesennuma Bay in the 2011 Great East Japan Earthquake and Tsunam // Journal of loss prevention in the process industries. 2018. Vol. 54. P. 37–48.
 7. Анненков А. Противопожарная защита открытых промышленных установок: приоритет предотвращения возгораний // Алгоритм безопасности. 2016. № 4. С. 16–19.
 8. Fay J.A. Model of spills and fires from LNG and oil tankers // Journal of hazardous materials. 2003. № 2-3. P. 171–188.
 9. Морозов Р.В. Консолидация и анализ данных моделирования пожара и эвакуации // Информатизация и связь. 2015. № 2. С. 94–98.
 10. Бакиров И.К., Халиуллина И.Р. О сложностях определения пожарного риска и угрозы жизни людей от пожара // Пожаровзрывобезопасность. 2015. Т. 24. № 1. С. 5–8.
-

ПОЖАРНАЯ ТАКТИКА, ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПРОЦЕССОВ ГОРЕНИЯ И ТУШЕНИЯ

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ДИНАМИКИ ВСТРАИВАЕМОГО ОБОРУДОВАНИЯ НА УСТОЙЧИВОСТЬ ДВИЖЕНИЯ НАЗЕМНЫХ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ

А.Г. Можяев.

**Дальневосточная пожарно-спасательная академия –
филиал Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России.**

А.А. Печурин, кандидат технических наук, доцент;

О.А. Рыбин, доктор технических наук.

Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России

Рассмотрены современные робототехнические комплексы и обозначен ряд проблем влияния динамики навесного оборудования на устойчивость этих систем. Проведен анализ систем и способов виброзащиты и виброизоляции, предложена методика оценки на основе регулировки частотных и точностных характеристик.

Ключевые слова: робототехнический комплекс, навесное оборудование, виброзащита

THE STUDY OF THE DYNAMICS EMBEDDED EQUIPMENT ON THE STABILITY OF THE GROUND ROBOTIC TOOLS

A.G. Mozhaev.

**Far East fire and rescue Academy – branch of Saint-Petersburg university of State fire service
of EMERCOM of Russia.**

A.A. Pechurin; O.A. Rybin. Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia

The article considers modern robotic systems and identifies a number of problems of the influence of dynamics of attachments on the stability of these systems. The analysis of systems and methods of vibration protection and vibration isolation is carried out and the method of estimation, on the basis of regulation of frequency and accuracy characteristics is offered.

Keywords: robotic complex, attachments, vibration protection

Современная стадия развития науки характеризуется качественным и количественным скачком в развитии перспективных технологий, таких как нано- и информационные технологии, микроэлектронные технологии и др. На их основе устойчиво образовывается новейший вид технических систем – робототехнические системы, которые все шире применяются в гражданских и военных сферах [1, 2].

Объективность развития и внедрения автоматических (автоматизированных) систем в их эффективности по сравнению с традиционными, человеко-машинными системами. Такие системы приспособлены к переработке больших объемов информации, обладают

быстрой реакцией и не подвержены психофизиологическим нагрузкам (стрессу, усталости, страху). Человек-оператор, оставаясь в целом эффективнее автоматических устройств, при принятии неформальных решений в определенных условиях основательно уступает автоматике из-за психофизиологических перегрузок, что в итоге существенно снижает потенциальные внутренние резервы вооружения и техники. Также устранение из образцов вооружения и робототехники человека-оператора и систем его жизнеобеспечения высвобождает существенные массогабаритные ресурсы, что способствует повышению энергооснащенности и эффективности применяемой техники и вооружения.

В настоящее время на балансе подразделений МЧС России по всей стране уже есть: 18 робототехнических комплексов (РТК) для проведения инженерных работ, 70 роботов для пожаротушения, а также 24 комплекса для проведения подводных работ [3].

Роботизация наземных РТК развивается в основном по двум направлениям [1]:

- создание перспективных РТК для выполнения боевых, разведывательных и вспомогательных задач;
- разработка комплектов навесной, закрепляемой аппаратуры удаленного управления для установки на действующие образцы вооружения и техники.

Подход к разработке мобильных роботов на основе комплектов встраиваемого оборудования представлен на рис. 1.

Исследования показывают, что данный курс разработки обеспечивает извлечение технико-экономического эффекта фактически на всех этапах жизненного цикла изделий [4].

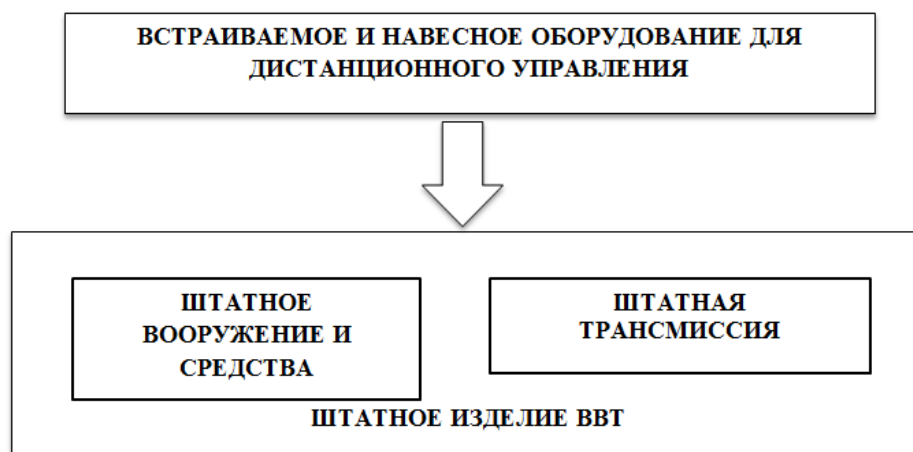


Рис. 1. Разработка мобильных роботов на основе комплектов навесной аппаратуры (ВВТ – вооружение и военная техника)

Строение РТК, создаваемого методом установки на штатные образцы ВВТ комплектов встраиваемой и навесной аппаратуры для дистанционного управления с целью их безэкипажного применения, представлен на рис. 2, основой структуры комплекса являются маневренный робот и пункт дистанционного управления.

Одной из систем, в наибольшей степени, завязанной на шасси и подверженной влиянию динамики, является система управления движением. Система управления движением непосредственно взаимодействует с аппаратурой и трансмиссией шасси. Состав системы управления движением, которая требует минимальных доработок шасси, приведена на рис. 3.

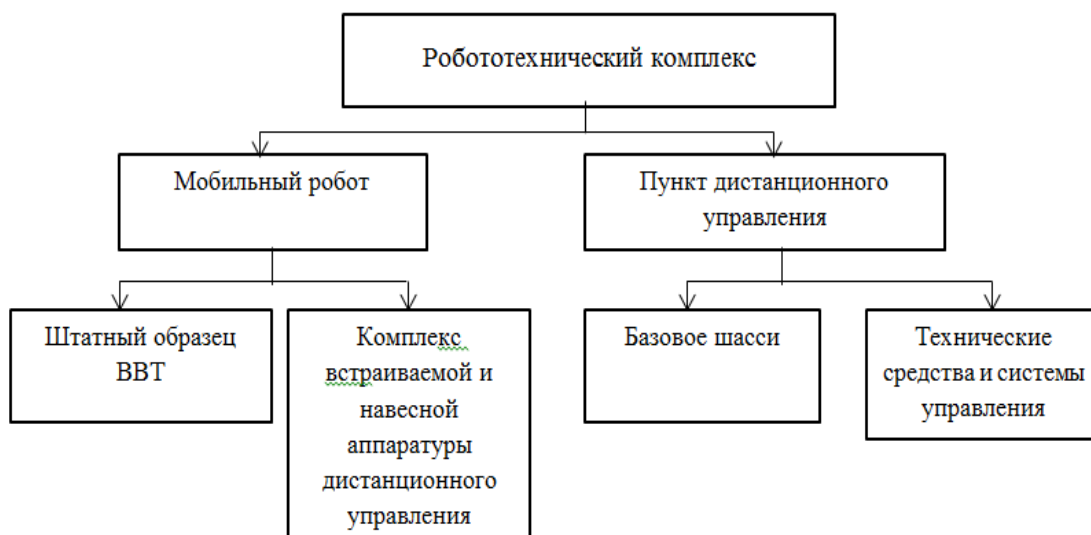


Рис. 2. Структура РТК

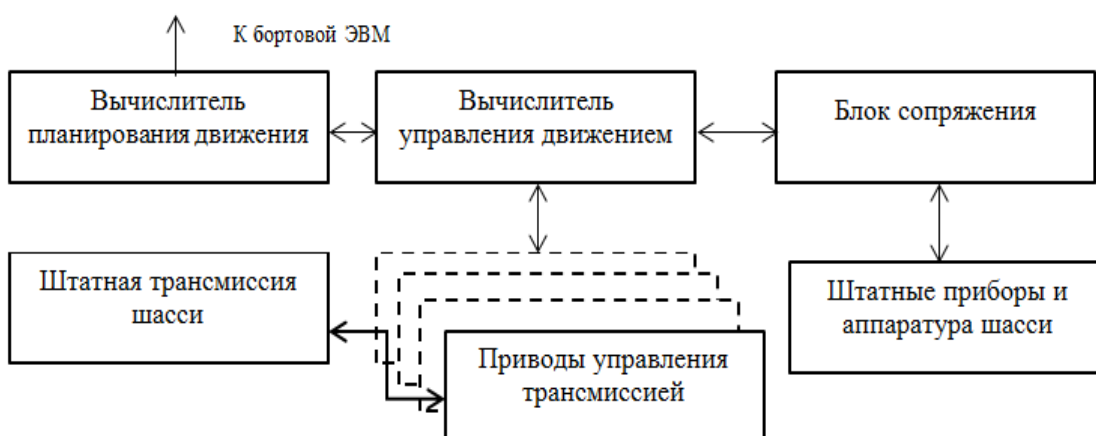


Рис. 3. Структура системы управления движением

Система управления движением взаимодействует с штатными трансмиссией и приборами через узел сопряжения и приводы управления трансмиссией.

Через узел сопряжения система получает информацию с приборов шасси, таких как температура охлаждающей жидкости, давление масла, и управляет запуском, остановом двигателя и т.д. С помощью приводов управления трансмиссией осуществляется регулирование механизмами трансмиссии, такими как подача топлива, тормоз, сцепление и т.п., в целом определяющие динамику робототехнического средства.

В понятии «динамика робототехнического средства» (РТС) в статье используется обобщенная характеристика системы местность-машина [5], численно характеризующаяся произведением скорости полностью управляемого перемещения РТС на класс и частоту препятствий. При этом характер препятствий определяет подвижность робота через ограничения скорости управляемого движения. Скорость ограничивают избыточные связи в системе местность-машина и в самой конструкции машины. Они сообщают машине дополнительные движения и вызывают деформации конструкции, не связанные с перемещением движителя перекачивающегося типа по местности. На машину действуют

созданные силами в избыточных связях системы местность-машина паразитные моменты, сообщающие ей вращение в поперечной и продольной плоскостях. Эти моменты компенсируются дополнительными моментами, создаваемыми перераспределениями нагрузок на опорные элементы конструкции – колеса и подвески, благодаря чему машина сохраняет устойчивость. Увеличение числа избыточных связей приводит к росту коэффициента концентрации нагрузок на силовые и опорные элементы конструкции при деформирующих нагрузках, нарушениям курсовой устойчивости, возникновению дополнительных нагрузок на грунт с соответствующими потерями энергии и прочими негативными эффектами [6–8]. Такие дополнительные избыточные связи как раз создает навесное оборудование.

Для анализа пространственной динамической модели были проведены исследования плоской модели робота (рис. 4), построено и рассмотрено математическое описание движения модели робота с параллельным механизмом.

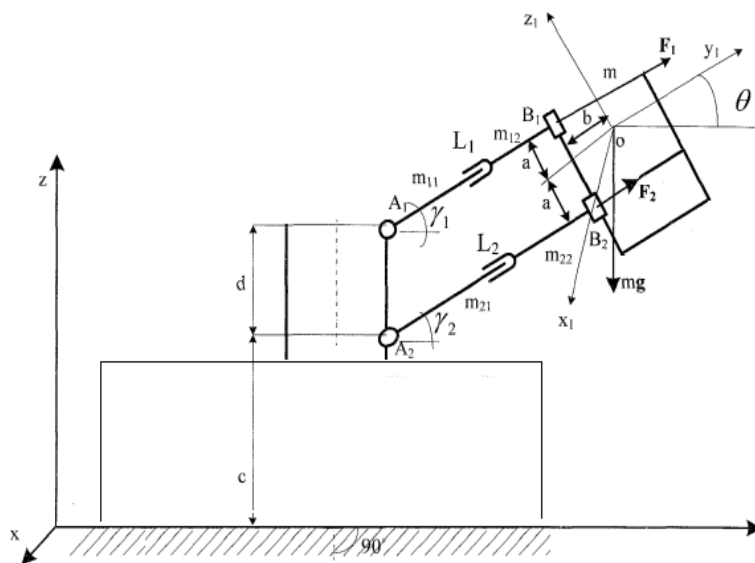


Рис. 4. Динамическая модель движения робота с параллельным механизмом

Штанги (рис. 4) представлены двумя элементами с массами $m_{i,1}$, $m_{i,2}$, $i=1,2$ – номер штанги, а платформа представляет собой однородный диск радиусом R_1 и массой m . Вращение платформы происходит относительно оси x .

Общее уравнение динамики движения платформы в общем виде можно представить следующими уравнениями динамики:

$$\begin{cases} J_{xx} \ddot{\Theta} = M_x(\bar{F}_1) + M_x(\bar{F}_2) \\ m \ddot{y}_c^{(0)} = \sum \bar{F}_{iy} \\ m \ddot{z}_c^{(0)} = \sum \bar{F}_{iz} \end{cases} \quad (1)$$

Уравнениями также можно представить:

– проекции сил, действующих в точках B_1 и B_2 в неподвижной системе координат:

$$\begin{aligned}
F_{1y}^{(0)} &= T_{21} T_{10} F_{1y}^{(2)} \\
F_{1z}^{(0)} &= T_{21} T_{10} F_{1z}^{(2)} \\
F_{2y}^{(0)} &= T_{21} T_{10} F_{2y}^{(2)} \\
F_{2z}^{(0)} &= T_{21} T_{10} F_{2z}^{(2)} ;
\end{aligned}$$

– вектор угловой скорости платформы:

$$\bar{\omega} = (\dot{\Theta} \quad 0 \quad 0)^T,$$

– тензор инерции платформы:

$$J_p = \begin{vmatrix} J_{xx} & 0 & 0 \\ 0 & J_{yy} & 0 \\ 0 & 0 & J_{zz} \end{vmatrix};$$

где J_{xx}, J_{yy}, J_{zz} – осевые моменты инерции;

– главный момент внешних сил:

$$\begin{aligned}
\bar{M}_c(\bar{F}_i) &= \begin{vmatrix} \bar{i}_2 & \bar{j}_2 & \bar{k}_2 \\ x_2 & y_2 & z_2 \\ {}^2F_i^x & {}^2F_i^y & {}^2F_i^z \end{vmatrix} = \bar{i}_2(y_2 {}^{(2)}F_i^z - {}^{(2)}F_i^y z_2) + \\
&+ \bar{j}_2(z_2 {}^{(2)}F_i^x - {}^{(2)}F_i^z x_2) + \bar{k}_2(x_2 {}^{(2)}F_i^y - {}^{(2)}F_i^x y_2) ; \\
\text{Если } x_2 &= 0 \text{ и } {}^{(2)}F_i^x = 0, \text{ то} \\
\bar{M}_c(\bar{F}_i) &= \sum \bar{i}_2(y_2 {}^{(2)}F_i^z - {}^{(2)}F_i^y z_2) ;
\end{aligned} \tag{2}$$

– проекции сил F_i на оси OZY с учетом (2):

$$\begin{aligned}
\sum \bar{F}_{iy} &= T_{21} T_{10} (F_{1y}^{(2)} + F_{2y}^{(2)}) \\
\sum \bar{F}_{iz} &= T_{21} T_{10} (F_{1z}^{(2)} + F_{2z}^{(2)}) ;
\end{aligned}$$

– радиус-вектор центра масс C при определении проекции ускорения центра масс в неподвижной системе координат, определяется уравнением:

$$\bar{r}_c = \begin{vmatrix} 0 \\ y_c \\ z_c \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 0 \\ (L_1 + b) \cos \gamma_1 + a \cdot \sin \Theta \\ (L_1 + b) \sin \gamma_1 + a \cdot \cos \Theta + c + d \end{vmatrix} . \tag{3}$$

Продифференцировав дважды выражение (3), получим соответствующие проекции ускорения точки С:

$$\vec{r}_c = \begin{pmatrix} 0 \\ \ddot{y}_c \\ \ddot{z}_c \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ \frac{d^2}{dt^2}((L_1 + b) \cos \gamma_1 + a \cdot \sin \Theta) \\ \frac{d^2}{dt^2}((L_1 + b) \sin \gamma_1 + a \cdot \cos \Theta + c + d) \end{pmatrix},$$

после соответствующих преобразований получим:

$$\begin{aligned} \ddot{y}_c &= \ddot{L}_1 \cos \gamma_1 - 2\dot{L}_1 \sin \gamma_1 \dot{\gamma}_1 - (b + L_1) \cos \gamma_1 \dot{\gamma}_1^2 + a \cdot \dot{\Theta}^2 \cos \Theta - \\ &- (b + L_1) \sin \gamma_1 \ddot{\gamma}_1 - a \cdot \ddot{\Theta} \sin \Theta \\ \ddot{z}_c &= \ddot{L}_1 \sin \gamma_1 + 2\dot{L}_1 \cos \gamma_1 \dot{\gamma}_1 - (b + L_1) \sin \gamma_1 \dot{\gamma}_1^2 - a \cdot \dot{\Theta}^2 \sin \Theta - \\ &- (b + L_1) \cos \gamma_1 \ddot{\gamma}_1 - a \cdot \ddot{\Theta} \cos \Theta \end{aligned} \quad (4)$$

Подставив уравнения (2), (3) и (4) в (1), получим дифференциальные уравнения показывающие траекторию перемещения робота в неподвижной системе координат платформы:

$$\begin{cases} J_{xx} \dot{\omega} = \sum (b^{(2)} F_i^z - {}^{(2)} F_i^y a) \\ m(\ddot{L}_1 \cos \gamma_1 - 2\dot{L}_1 \sin \gamma_1 \dot{\gamma}_1 - (b + L_1) \cos \gamma_1 \dot{\gamma}_1^2 + a \cdot \dot{\Theta}^2 \cos \Theta - \\ - (b + L_1) \sin \gamma_1 \ddot{\gamma}_1 - a \cdot \ddot{\Theta} \sin \Theta) = T_{21} T_{10} (F_{1y}^{(2)} + F_{2y}^{(2)}) \\ m(\ddot{L}_1 \sin \gamma_1 + 2\dot{L}_1 \cos \gamma_1 \dot{\gamma}_1 - (b + L_1) \sin \gamma_1 \dot{\gamma}_1^2 - a \cdot \dot{\Theta}^2 \sin \Theta - \\ - (b + L_1) \cos \gamma_1 \ddot{\gamma}_1 - a \cdot \ddot{\Theta} \cos \Theta) = T_{21} T_{10} (F_{1z}^{(2)} + F_{2z}^{(2)}) - mg \end{cases} \quad (5)$$

Перемещение осей, на которых будет размещено навесное оборудование в неподвижной системе координат можно представить следующими уравнениями:

$$\begin{cases} m_{i2} \ddot{L}_i - m_{i2} L_i \dot{\gamma}_i^2 = F_{\text{эп}i} - A_{io}^{-1} F_{iy} \\ -m_{i2} L_i \ddot{\gamma}_i - 2m_{i2} \dot{L}_i \dot{\gamma}_i = A_{io}^{-1} F_{iz} - m_{i2} g_{iz} + N_i \\ (m_{i1} L_{i1} + I_{zz1} + I_{zz2} + m_{i2} L_i^2) \ddot{\gamma}_i + 2m_{i2} \dot{\gamma}_i \dot{L}_i L_i + L_1 N_1 + (m_{i1} L_{i1} + m_{i2} L_i) g \sin \gamma_i = 0 \end{cases} \quad (6)$$

Эти дифференциальные уравнения (5, 6) описывают движение робота. Если известны силы, возникающие в электроприводах $F_{\text{эп}1}, F_{\text{эп}2}$ и угол наклона λ_1 , можно найти проекции этих сил, которые действуют в точках В₁ и В₂ $F_{1y}, F_{1z}, F_{2y}, F_{2z}$, силы N_1, N_2 , углы наклона λ_2 и Θ , а также длины штанг L_1 и L_2 .

Как вывод, подобная математическая модель позволит найти решение задачи исследования управляемого движения робота с учетом влияния анализа частоты управляемого воздействия.

Для исследования движения применялась модель, созданная в программном пакете Working model 8.0. Параметры моделирования приняты следующие: $m_i = m = 10$ кг, коэффициент трения скольжения $f = 0,3$, управляющая сила на приводах $F = F_0 \cdot \sin(w \cdot t)$.

Влияние частоты управляющего воздействия на среднюю скорость робота при гусеницеподобном движении и синусоидальном задающем воздействии на электроприводы показано на рис. 5, 6. В ударном режиме движения видно присутствие высокочастотных составляющих (рис. 6).

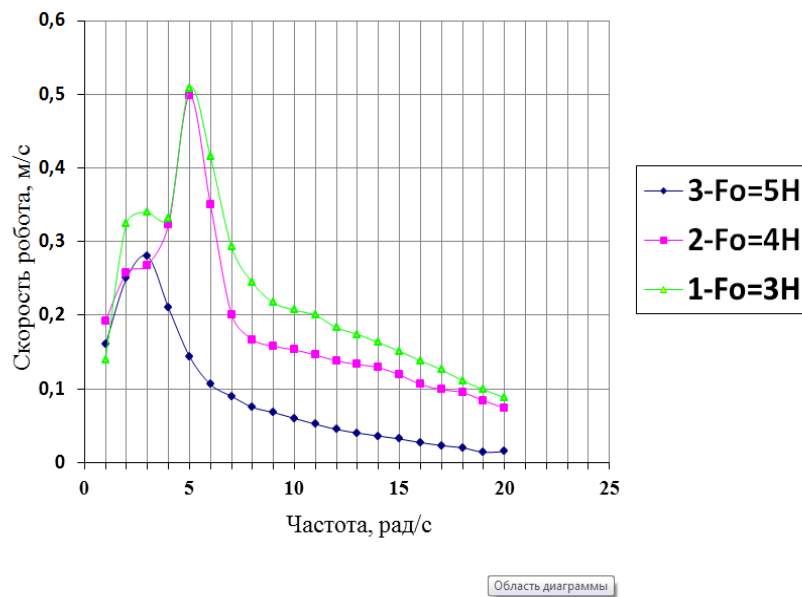


Рис. 5. Зависимость средней скорости робота от частоты задающего воздействия

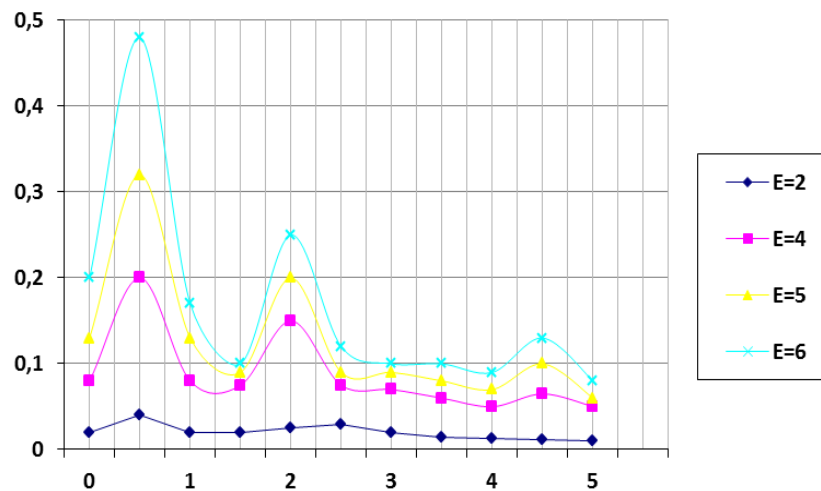


Рис. 6. Зависимость средней скорости робота V_c от безразмерного параметра ζ для различных уровней электрического питания E

Безразмерный параметр ζ определялся как отношение квадрата парциальной частоты первой массы робота к квадрату частоты внешнего воздействия по зависимости:

$$\zeta = \frac{C}{\omega^2 m_1} = \frac{\lambda_1^2}{\omega^2}.$$

На рис. 6 приведены зависимости средней скорости установившегося движения робота в зависимости от параметра ζ для четырех значений амплитуды электрического питания E , определяемого по зависимости:

$$E = \frac{U_0}{\Phi_0 \omega} .$$

Анализ этих зависимостей показывает, что в области $\zeta=0,5$ наблюдается резкое увеличение скорости робота. Это соответствует основному резонансу рассматриваемой системы, который наступает при совпадении собственной частоты и частоты внешнего воздействия. Второй пик увеличения скорости наблюдается при $\zeta=2$, что соответствует резонансу, который наступает при условии $p=2 \cdot \omega$. Третий пик соответствует условию $p=3 \cdot \omega$ или $\zeta=4,5$.

Решение задачи о точном движении навесного оборудования в системе робота по заданной траектории при кусочно-постоянном управляющем воздействии предполагает реализацию такого управления осями и углом наклона, которое обеспечит движение некоторой точки P платформы по траекториям (рис. 7), максимально идентичным заданным с учетом возмущающего воздействия.

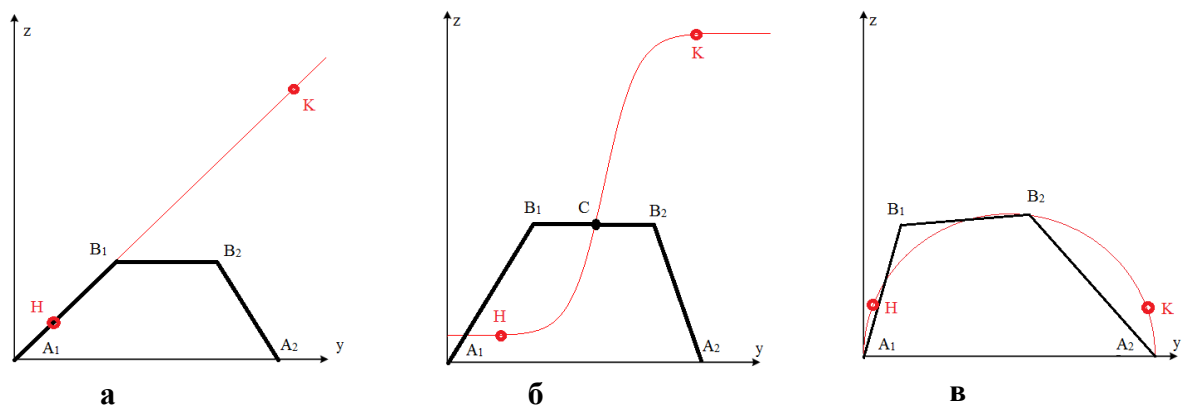


Рис. 7. Перемещение точек платформы робота по заданным траекториям

В первом случае (рис. 7 а) точка P совпадает с точкой B_1 и передвигается по прямой, проходящей под углом φ к оси y . В этом случае ее траектория имеет вид:

$$z(y) = y \cdot \operatorname{tg} \varphi_{10} .$$

Во втором случае (рис. 7 б) точка P совпадает с центром платформы C и траектория представляет собой восьмиобразную кривую, сигмоиду с параметрами a и b и имеет вид:

$$z(y) = \frac{1}{1 + e^{-a(y-b)}} .$$

В третьем случае (рис. 7 в) точка P совпадает точкой B_2 и траектория представляет собой эллипсоиду с параметрами a и b и имеет вид:

$$\frac{(y-a)^2}{a^2} + \frac{z^2}{b^2} = 1 .$$

В последующих решениях предстоит решить вопрос о минимизации отклонения реальной траектории движения точки, относящиеся к подвижной платформе робота от заданной траектории.

Количество и соотношения действующих связей в системе местность-машина должны быть оптимальными для обеспечения движения в режиме кинематического соответствия в максимально широком спектре условий движения и для обеспечения продольной и поперечной остойчивости машины.

С целью защиты навесного оборудования от вибрации используют, чаще всего, пассивную виброизоляцию. Оборудование устанавливают на отдельные массивные фундаменты, которые закрепляются на стальных пружинах в подвешенном состоянии и устанавливаются на резиновых ковриках. Данные конструкции чрезвычайно громоздки и дороги, масса фундаментного блока должна больше чем в три раза превосходить массу оборудования. Помимо того, уже близ амплитуд колебания в районе 0,3 мкм эффективность таких виброизолирующих фундаментов не обеспечивает необходимого снижения амплитуды колебаний, что требует применения специальных массивных виброгасящих систем стационарного типа.

В наибольшей степени масштабно распространенные в нынешний период резиновые, резинометаллические коврики и опоры показывают очень высокую собственную частоту (10... 20 Гц), что не позволяет реализовать с их помощью довольно надежную и эффективную систему виброзащиты.

Пьезоэлектрические опоры имеют высокую собственную частоту 100... 200 Гц, все же малую нагрузочную способность и незначительный диапазон перемещений. Пневматические виброизолирующие опоры отвечают многим требованиям, предъявляемых к средствам защиты прецизионного оборудования, и обладают такими достоинствами, как низкая жесткость, а, следовательно, и низкая собственная частота при высокой несущей способности, малая масса и габаритные размеры. Компенсируя стационарные низкочастотные возмущения объекта, пневмоопора обеспечивает высокое полезное действие виброизоляции. Основным недостатком пневмоопоры является невозможность ее применения в качестве активной системы виброизоляции из-за высокой сжимаемости воздуха и большого времени переходного процесса.

В силу этого для прецизионного оборудования все более массово применяются опоры, имеющие помимо вязкоупругих элементов систему автоматического регулирования, способную предоставить заданное положение объекта с высокой точностью [5]. Исследование существующих устройств сверхточного перемещения показало, что для нанотехнологического и исследовательского оборудования в наибольшей степени уместно эксплуатировать устройства на основе пьезокерамики, МР- и ЭР-жидкостей, а также МР-эластомеров. Они в основном применяются для защиты от низкочастотных колебаний.

Совокупность проведенных исследовательских и конструкторских работ позволил подготовить варианты активных виброизолирующих и позиционирующих систем на основе как одно-, так и трехкоординатных МР-устройств [9]. Эти системы позволяют регулировать собственную частоту колебаний, имеют малые массу и габаритные размеры, а также малое время переходных процессов в МР-элементах. Целесообразным представляется исполнение виброизолирующей системы на основе активных МР-демпферов, работающих вместе с пассивными виброизоляторами. В этом случае происходит низкочастотная компенсация стационарных возмущений защищаемого объекта с помощью активных МР-демпферов и обеспечивается пассивная виброзащита в области более высоких частот.

Основным показателем, характеризующим полезное действие виброизоляции, является коэффициент передачи амплитуды колебаний μ . Обычно однокаскадные системы с применением массивных элементов обеспечивают коэффициент передачи $\mu=0,01... 0,05$. Для прецизионного оборудования необходимо обеспечить коэффициент передачи $\mu=0,001... 0,003$ при амплитуде колебаний опорной поверхности 4... 5 мкм.

Как вывод, предлагаемая методика анализа систем и способов виброзащиты и виброизоляции навесного, встраиваемого оборудования состоит в следующем:

1. Для сверхточного навесного оборудования рационально употреблять устройства активной виброизоляции и позиционирования на основе МР-жидкостей и МР-эластомеров вместе с пассивными виброизоляторами. В этом случае низкочастотная компенсирование возмущений защищаемого объекта (при частотах менее 200 Гц) происходит при помощи активных МР-демпферов, а пассивная виброзащита в области более высоких частот обеспечивается традиционными вязкоупругими демпферами.

2. Рекомендуется оценивать регулировку частотных и точностных характеристик МР-устройств активного демпфирования и микропозиционирования отражением изменения коэффициента жесткости упругой кластерной мембраны МР-среды порядком изменения магнитной индукции.

3. Процесс позиционирования демпфера на основе МР-эластомера из одной точки в другую при подаче прямоугольного управляющего сигнала носит типичный вид переходного колебательного процесса и должен служить критерием оценки стабильности системы. Константа времени демпфера, значение которой может регулироваться, увеличивается от 1 до 200 мс по мере роста нагрузки от 0 до 22 Н.

Литература

1. Калинин Б.А. Американский опыт применения дистанционно-управляемых модулей вооружения боевых бронированных машин в Ираке // Зарубежное военное обозрение. 2009. № 5.

2. Бой в городе. Боевые и обеспечивающие роботы в условиях урбанизированной территории / В.С. Лапшов [и др.] // Известия ЮФУ. Технические науки. 2011. № 3. 16D. С. 142–146.

3. Роботы помогут МЧС тушить пожары и спасать людей // Рос. газ. Федер. вып. № 7049 (181).

4. Шашок В.Н., Филиппов С.И., Малышев А.Н. Подход к проектированию мобильного робота на основе комплекса встраиваемой и навесной аппаратуры // Перспективные системы и задачи управления: материалы XIII Всерос. науч.-практ. конф. Таганрог: Изд-во ТТИ ЮФУ, 2013. 378 с.

5. Юревич Е.И. Теория автоматического управления. 3-е изд. СПб.: БХВ- Петербург, 2007. 560 с.

6. Тодосейчук С.П., Самойлов К.И., Климачева Н.Г. Научно-методические основы создания и применения робототехнических средств для решения задач МЧС России // ВНИИГОЧС. 2011. С. 19–32.

7. Проектирование полноприводных колесных машин. М.: Изд-во МГТУ, 2008. Т. 1. С. 25–56, 144–182, 435–485.

8. Проектирование полноприводных колесных машин. М.: Изд-во МГТУ, 2008. Т. 2. С. 152–490.

9. Positioning magnetorheological actuator / V. Mikhailov [et al] // Journal of Physics: Conference Series 149. 2009. 01 2075.

ОЦЕНКА ОГNETУШАЩЕЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ МОДИФИЦИРОВАННЫХ ВОДОСОДЕРЖАЩИХ СОСТАВОВ

Г.К. Ивахнюк, доктор химических наук, профессор;

А.Д. Анашечкин, кандидат технических наук, доцент;

А.С. Копосов.

Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России

Приведены результаты исследования влияния переменного частотно-модулируемого электрического сигнала на огнетушащие и физико-химические свойства предложенных

огнетушащих веществ. Описано получение модифицированных водосодержащих составов на основе карбопола марки EDT-2020. Определен наиболее оптимальный сценарий синтеза гидрогеля. В результате проведенного исследования проведена оценка огнетушащей способности модифицированных водосодержащих составов.

Ключевые слова: вода, водосодержащий состав, гидрогель, частотно-модулируемый сигнал, огнетушащая эффективность, физико-химические свойства

EVALUATION OF THE FIRE-THROWING EFFICIENCY OF MODIFIED WATER-CONTAINING COMPOSITIONS

G.K. Ivakhnyuk; A.D. Anashechkin; A.S. Koposov.

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

The results of the study of the influence of the variable frequency-modulated electrical signal on the extinguishing and physical, chemical properties of the proposed extinguishing agents are presented. The preparation of modified water-based compositions based on carbopol EDT-2020 is described. The most optimal scenario for the synthesis of hydrogel was determined. As a result of the study, an assessment was made of the fire extinguishing efficiency of modified water-containing compositions.

Keywords: water, water-containing composition, hydrogel, frequency-modulated signal, fire extinguishing efficiency, physical and chemical properties

При ликвидации пожаров важно минимизировать время, затраченное на их тушение, сократить расход огнетушащих веществ (ОТВ), а так же особое внимание уделить экологической безопасности [1] и физиологической безвредности предлагаемых веществ. В связи с этим необходимо расширить спектр существующих водосодержащих ОТВ, а также найти новые механизмы тушения пожаров и оценить их эффективность [2]. Решением данной проблемы может стать внедрение в пожаротушение модифицированных водосодержащих составов.

Необычные и неповторимые свойства воды в трех агрегатных состояниях объясняются способностью ее молекул образовывать межмолекулярные образования не только за счет ориентационных, индукционных и дисперсионных взаимодействий (сил Ван-дер-Ваальса), но, прежде всего, за счет водородных связей, так как энергия последних в десять раз превосходит силы Ван-дер-Ваальса.

Во многих работах были отмечены попытки изменить как надмолекулярную структуру воды, так и ее физико-химические свойства. В свое время В.И. Классеном, Г.З. Хайдаровым, Д.И. Уманским и многими другими авторами было изучено влияние магнитной обработки на электропроводность, диэлектрическую проницаемость, вязкость и другие свойства воды, а также биологические системы и технологические процессы с ее участием.

Следовательно, можно предположить, что, воздействуя, на водосодержащие составы какими-то физическими факторами, имеется возможность изменить ее надмолекулярную структуру и физико-химические свойства. Кроме этого, известно, что многие процессы происходят на границе раздела фаз с образованием двойного электрического слоя и накоплением статического электричества.

Для приготовления исследуемых составов необходимы: акриловый полимер, карбопол марки EDT-2020, дистиллированная вода, гидроксид аммония (NH_4OH), сульфат двухвалентной меди ($CuSO_4$), уголь активный марки ОУ-А.

В работе [3] была определена оптимальная концентрация гелеобразующего ингредиента с точки зрения минимизации времени тушения модельного очага пожара, которая составила 0,1 %.

Модифицирование геля осуществлялось путем его электрофизической обработки переменным частотно-модулированным сигналом (ПЧМС), который позволяет управлять

надмолекулярной структурой на границе раздела фаз [4]. В качестве источника воздействия использовали прибор «МАГ-24» (рис. 1).

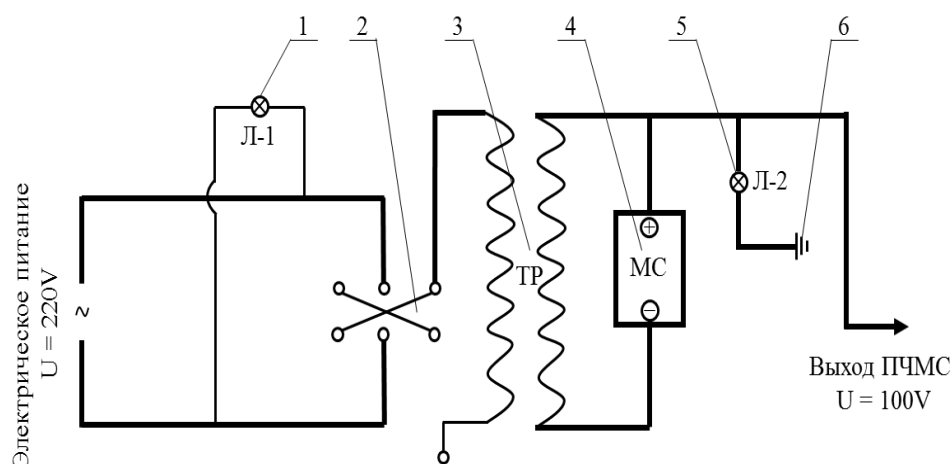


Рис. 1. Схема прибора ПЧМС для электрофизической обработки ОТВ:
1 – лампа 1; 2 – переход; 3 – трансформатор ОСМ-1;
4 – микросхема; 5 – лампа 2; 6 – заземления

Как известно из работы [5], ПЧМС влияет на физико-химические свойства воды и гидрогеля, изменяет их свойства. Используемый способ заключается в электрофизическом воздействии, характеризующегося рабочей частотой 50 Гц, нелинейным искаженным потенциалом до 12 В с генерируемыми интервалами его неоднородности на водосодержащие составы [6].

Из табл. 1 видно, что воздействие ПЧМС ускоряет испарение влаги и незначительно снижает кислотность. Также при электрофизическом воздействии на воду ее поверхностное натяжение уменьшается на 3–4 %.

Таблица 1. Массовая доля испарившейся влаги обработанного и необработанного геля (%)

№	Время обработки	Время испарения					
		0 мин	30 мин	60 мин	2 ч	1 сут	2 сут
1	Необработанный	0	2,5	7,0	9,0	50,0	99,5
2	Обработанный 30 мин	0	4,9	8,7	13,9	57,4	99,4
3	Обработанный 45 мин	0	5,7	10,7	16,2	60,0	99,7

Вследствие электрофизического воздействия происходит переориентация молекул веществ вдоль силовых линий приложенного переменного электрического поля, генерируемого источником ПЧМС, в связи с чем образуется изолирующая водногелевая пленка, препятствующая повторному возгоранию веществ и материалов.

Вместе с увеличением скорости испарения воды и уменьшением поверхностного натяжения гель снижает свои реологические свойства и увеличивает смачивающую способность по отношению к гидрофобным поверхностям, что экспериментальным путем доказано в работе [7]. Происходящее при этом незначительное увеличение значений pH растворителя – воды в составе аппликата не представляется существенным на фоне увеличения концентрации акрилового полимера в геле-носителе электрофизической стимуляции свойств самого аппликата.

В табл. 2 приведены значения pH, измеренные для образцов гидрогеля, хранившихся в закрытых от испарения сосудах. Как видно из табл. 1, гель за двое суток полностью обезвоживается. Данные же табл. 2 показывают, что изменение pH за первые двое суток

в невысыхающем геле сохраняется от 13 до 20 сут в зависимости от длительности воздействия ПЧМС. Из этого следует, что изменения свойств геля от воздействия ПЧМС сохраняются во времени и зависят только от длительности обработки ПЧМС исходного геля.

Таблица 2. Длительность сохранности рН гидрогеля после обработке ПЧМЧ

Длительность обработки		Пост-экспозиции, сут									
		1	2	3	5	7	10	13	15	17	20
рН контрольного образца		4,6	4,6	4,6	4,6	4,6	4,6	4,6	4,6	4,6	4,6
ΔрН	25 мин	+0,1	+0,1	+0,1	+0,1	+0,1	0	0	0	0	0
	35 мин	+0,2	+0,2	+0,2	+0,2	+0,2	+0,2	+0,1	0	0	0
	45 мин	+0,3	+0,3	+0,3	+0,3	+0,3	+0,3	+0,2	+0,2	+0,1	0
	60 мин	+0,3	+0,3	+0,3	+0,3	+0,3	+0,3	+0,3	+0,3	+0,2	+0,2
	120 мин	+0,3	+0,3	+0,3	+0,3	+0,3	+0,3	+0,3	+0,3	+0,3	+0,2

В следующем этапе эксперимента выявили наиболее оптимальный сценарий синтеза водногелевого состава, вследствие которого полимер достигнет наибольшей степени набухания (рис. 2).

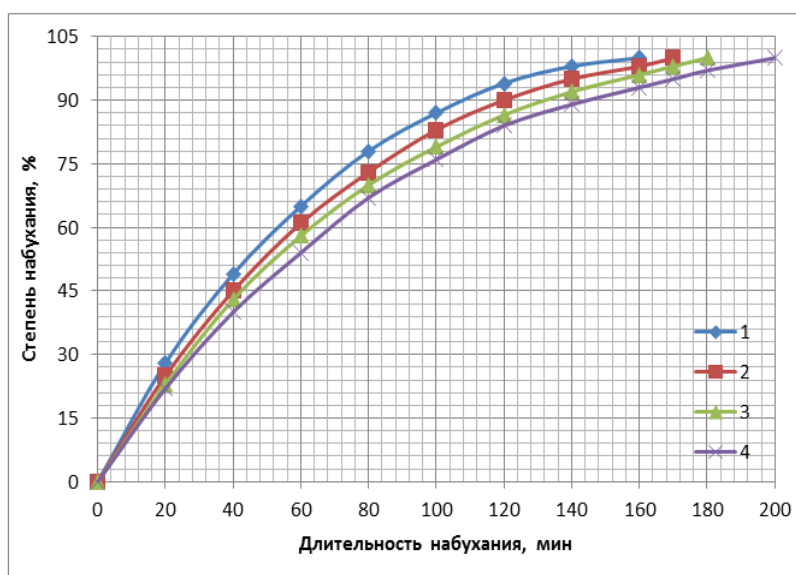


Рис. 2. Влияние ПЧМС на степень набухания гелеобразующего ингредиента (карбопола EDT-2020):
1 – набухание карбопола на основе модифицированной воды, модификация в процессе набухания; 2 – набухание карбопола в модифицированной воде (50 мин);
3 – набухание карбопола, обработка во время набухания; 4 – контрольная

Из рис. 2 видно, что максимальная степень набухания акрилового полимера получается на основе электрофизически модифицированной воды и дальнейшей обработке суспензии в течение определенного времени, что сокращает на 10–20 % длительность набухания и получения водногелевого состава в качестве готового ОТВ.

При проведении практической части исследования был создан лабораторный стенд для исследования процессов тушения [8]. Целью разработки данного стенда является определение эффективности тушения модельных очагов пожара различными ОТВ. По принципу действия установка схожа с модулем пожаротушения тонкораспыленной водой (рис. 3).

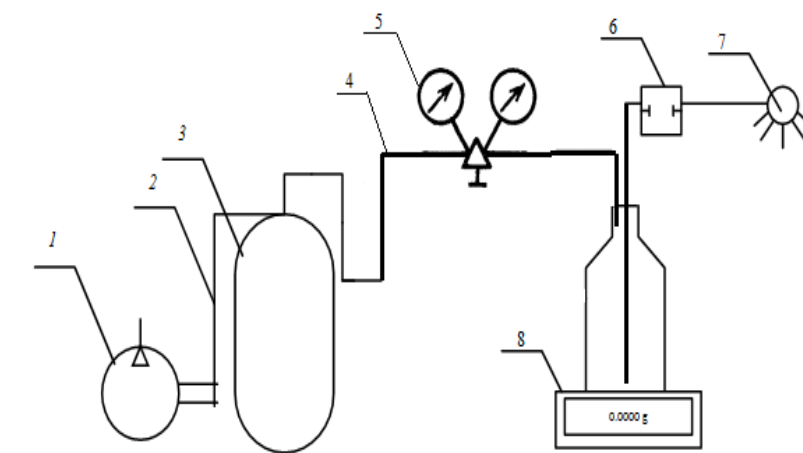


Рис. 3. Принципиальная схема лабораторного стенда исследования процессов тушения:
1 – побудитель действия (компрессоры, насосы и пр.); 2 – вакуумный шланг; 3 – ресивер;
4 – вакуумный шланг манометра; 5 – регулируемый газовый редуктор с манометром;
6 – запорно-пусковое устройство; 7 – насадок; 8 – весы; 9 – емкость с ОТВ

Принцип действия стенда. С помощью побудителя действия образуется избыточное давление в ресивере. Ресивер – герметичная емкость со сжатым воздухом, имеющая входной и выходной патрубки, при помощи которых емкость соединяется с компрессором и пневматической системой. Принцип действия ресивера состоит в дополнительном осушении и накоплении сжатого воздуха, стабильной подачи рабочей среды и устранении пульсации воздушного потока. На выходе из ресивера поток воздуха попадает в регулируемый газовый редуктор, где выставляется необходимое рабочее давление системы. Манометр, расположенный между редуктором и емкостью с ОТВ, позволяет определить рабочее давление в пневматической системе установки. Запорно-пусковым устройством осуществляется подача ОТВ. Насадок обеспечивает выпуск огнетушащего состава на модельный очаг пожара (МОП). С помощью весов, расположенных на стенде, определяется количество ОТВ, затраченного на тушение МОП за определенный промежуток времени. Все основные элементы установки последовательно соединены между собой вакуумным шлангом $d=16$ мм, способным выдерживать давление до 20 атм.

Для изучения эффективности предложенных составов была проделана экспериментальная работа по тушению МОП класса 1В согласно ГОСТ Р 51057–2001 [9] (рис. 4).

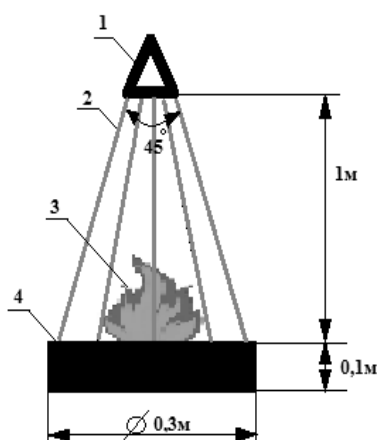


Рис. 4. Схема тушения МОП класса 1В модифицированными ОТВ:
1 – насадок для тонкораспыленной струи; 2 – огнетушащее вещество; 3 – пламя;
4 – противень с керосином марки КО-25

Для проведения эксперимента за модельный очаг пожара был взят противень с внутренним диаметром 300 мм и 150 г керосина осветительного марки КО-25. Все исследуемые составы испытывались при одинаковых нормальных условиях и способе подачи (рабочее давление 6 атм, высота насадка 1 м, угол распыла 45°). Измерения проводились по пяти замерам. Оценка достоверности полученных результатов производилась на основе распределения Стьюдента при $P \geq 0,95$, значение коэффициента Стьюдента $t=2,776$.

Результаты эксперимента представлены в табл. 3.

Таблица 3. Результаты эксперимента по тушению МОП ранга 1В модифицированными ОТВ

№	ОТВ	Время тушения, с	Масса ОТВ, затраченная на тушение, л	$I_n, \text{л/с}\cdot\text{м}^2$
		X_n	Y_n	$X_n/Y_n \cdot S_{\text{прот}}$
1	Вода	$26,3 \pm 0,1$	$2,47 \pm 0,01$	0,007
2	Гидрогель 0,1 %	$24,1 \pm 0,1$	$2,26 \pm 0,01$	0,007
3	Гидрогель 0,1 % + УНТ	$22,6 \pm 0,1$	$2,15 \pm 0,01$	0,007
4	Вода + ОУ-А (2 г/л)	$17,4 \pm 0,1$	$1,54 \pm 0,01$	0,007
5	Гидрогель 0,1 % + ОУ-А (2 г/л)	$20,2 \pm 0,1$	$1,98 \pm 0,01$	0,007
6	Вода + CuSO_4 (16 г/моль)	$16,9 \pm 0,1$	$1,51 \pm 0,01$	0,007
	Гидрогель 0,1 % + CuSO_4 (16 г/моль)	$16,4 \pm 0,1$	$1,50 \pm 0,01$	0,007

Исследования модифицированных водосодержащих составов с добавлением присадок (CuSO_4 , уголь активный марки ОУ-А, углеродные нанотрубки) в различных концентрациях проводились с целью повышения огнетушащей способности ОТВ, полученных в работах [1, 3].

В табл. 3 представлены образцы с наиболее оптимальной концентрацией сорбентов с точки зрения пожаротушения. Из табл. 3 видно, что добавление присадок значительно сокращает время тушения МОП, при этом интенсивность подачи всех представленных веществ остается неизменной. Так, например, при добавлении CuSO_4 и ОУ-А в воду время, затраченное на тушение, сократилось приблизительно на 30 %. Это обуславливается рядом свойств данных присадок.

При добавлении CuSO_4 (в процессе подготовки водногелевого состава (ВГС) процесс гелеобразования происходит быстрее в связи с добавлением аммиака (аммиачной воды), частицы CuSO_4 интенсивнее растворяются и исключают возможность образования кристаллов меди в осадке). Также сульфат меди выступает в качестве катализатора в процессе тушения, что обусловлено снижением поверхностного натяжения и, вследствие чего, увеличением смачиваемости ВГС.

В работе [1] описано, что активные угли имеют весьма высокие величины удельной поверхности (до $500\text{--}1\,000 \text{ м}^2/\text{г}$ и более) и могут служить катализаторами окислительно-восстановительных и кислотно-основных реакций, в механизме которых процессы перехода ионов от катализатора к субстрату или наоборот играют главную роль.

Однако при добавлении данных присадок в гель, обладающий большей вязкостью, возможно увеличение выброса струи на тушение, что весьма актуально при тушении жидких углеводородов на объектах транспортной инфраструктуры с точки зрения минимизации теплового воздействия на участников тушения пожара. Так же основным преимуществом модифицированных гелей по отношению к воде является пленкообразование, способствующее мгновенной огнезащите конструкций, изоляции кислорода от горючей паровоздушной среды и препятствующее повторному возгоранию.

В результате проведенного исследования изучено изменение физико-химических свойств водосодержащих составов под воздействием ПЧМС поверхностное натяжение уменьшается на 3–4 %, смачивающая способность углеродных остатков горения деревянных конструкций возрастает на 10 %. Установлено увеличение огнетушащей способности (время тушения модельного пожара уменьшилось на 30 %). Экспериментально определен наиболее оптимальный сценарий синтеза геля при его электрофизической обработке (длительность набухания сокращается на 10–20 %).

Литература

1. Крымский В.В., Катилов Е.К., Яшуков А.С. Прогнозирование экономических последствий аварий экологического характера для порта Санкт-Петербурга, политика современной России в этой области // Управление экономическими системами: электронный научный журнал. 2015. № 7 (79).
2. Копосов А.С., Ивахнюк Г.К., Володьков И.В. Высокоэффективное огнетушащее вещество на основе водногелевого состава с углеродсодержащими наноструктурами // Науч.-аналит. журн. «Вестник С.-Петерб. ун-та ГПС МЧС России». 2017. № 3. С. 48–54.
3. Ивахнюк Г.К., Бондарь А.А., Копосов А.С. Применение модификаций гидрогелей при тушении пожаров на объектах хранения минеральных удобрений // Природные и техногенные риски (физико-математические и прикладные аспекты). 2016. № 3. С. 42–47.
4. Ивахнюк Г.К., Корольков А.П., Анашечкин А.Д. Безреагентный метод повышения огнетушащей эффективности водных растворов для тушения модельных очагов пожара // Вестник С.-Петерб. ин-та ГПС МЧС России. 2005. № 4.
5. Исследование огнетушащих свойств воды и гидрогелей с углеродными наноструктурами при ликвидации горения нефтепродуктов / А.В. Иванов [и др.] // Пожаровзрывобезопасность. 2017. С. 31–44.
6. Азимов Д.С., Ба М.Ч., Князев А.С. Влияние переменного частотно-модулируемого сигнала на рН гидрогелей // Традиции и инновации: материалы Науч. конф., посвящ. 189-й годовщине образования СПб.: СПбГТИ (ТУ), 2017. С. 6.
7. Исследование огнетушащих и теплозащитных свойств водногелевых составов на основе модифицированных наножидкостей / Ш.Г. Гаджиев [и др.] // Науч.-аналит. журн. «Вестник С.-Петерб. ун-та ГПС МЧС России». 2014. № 2. С. 31–37.
8. Методы и технологии обнаружения пожара: монография / В.В. Кутузов [и др.]; под общ. ред. В.С. Артамонова. СПб.: Астерион, 2015. 220 с.
9. ГОСТ Р 51057–2001. Техника пожарная. Огнетушители переносные. Общие технические требования. Методы испытаний. Доступ из инф.-правового портала «Гарант».



ЭКОНОМИКА, СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ ПОДХОД ОЦЕНКИ СТРУКТУРЫ ЭКОНОМИКИ РЕГИОНА (СТРАНЫ) И ОБОСНОВАНИЯ ПУТЕЙ ПОВЫШЕНИЯ ЕЕ УСТОЙЧИВОСТИ И ЭФФЕКТИВНОСТИ РАЗВИТИЯ

**В.А. Седнев, доктор технических наук, профессор,
заслуженный работник высшей школы Российской Федерации.
Академия ГПС МЧС России.**

А.В. Седнев.

Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

Предложен научно-методический подход оценки устойчивости и оптимальности построения многоуровневых структур и систем всех сфер экономики и даны примеры его применения для оценки устойчивого и эффективного развития регионов (страны), оценки управленческих решений должностных лиц и решения проблем развития территорий.

Ключевые слова: экономика, многоуровневые структуры и системы, устойчивое и эффективное развитие, территория, соотношение «крупное-среднее-мелкое», управление

SCIENTIFIC AND METHODOLOGICAL APPROACH OF THE EVALUATION THE STRUCTURE OF THE ECONOMY OF THE REGION (COUNTRY) AND JUSTIFICATION OF WAYS TO IMPROVE IT SUSTAINABILITY AND DEVELOPMENT EFFECTIVENESS

V.A. Sednev. Academy of State fire service of EMERCOM of Russia.

A.V. Sednev. Moscow state technical university of N.E. Bauman

The scientific and methodological approach to assessing the stability and optimality of the construction of multi-level structures and systems of all sectors of the economy is proposed and examples of its application for the assessment of sustainable and effective development of regions (country), evaluation of management decisions of officials and solving problems of development of territories are given.

Keywords: economy, multilevel structures and systems, sustainable and effective development, territory, ratio of «large-medium-small», management

При создании многоуровневых структур и систем всех сфер экономики возникает задача их обоснования, оценки эффективности и последствий создания. Однако комплексная оценка эффективности и последствий их создания не выполняется, при этом отсутствует математический аппарат, позволяющий это сделать.

Выходом из ситуации является применение техноценологической теории [1–5], позволяющей обосновывать и формировать многоуровневые структуры и системы для всех сфер реальностей (технической, физической, биологической, информационной и социальной), оценивать построение и эффективность многоуровневых структур и систем всех сфер

экономики и управлять их развитием. Предлагаемый подход может и должен стать основой управления экономикой и решения проблемы развития территорий страны. Он объясняет многие явления и указывает выход из современных тупиков.

Инвариантность видовой структуры (техно)ценозов любой природы заключается в том, что при их образовании (построении) и функционировании существует подобие процессов формирования. Устойчивость структур по разнообразию и соотношению «крупное-среднее-мелкое» отразила качественные изменения и количественный рост объектов.

Для объяснения общности структуры физических, биологических, технических, информационных и социальных ценозов сформулирована третья (ценологическая) научная картина мира, которая для любой из реальностей материального и идеального миров устанавливает при видовой классификации определенное разнообразие и соотношение по параметру «крупное-среднее-мелкое», и определены границы первой (механической) картины мира, согласно которой изделия жестко рассчитываемы; второй (вероятно-статистической), позволяющей изготавливать изделия с гауссовыми допусками нормального распределения.

Наличие трех научных картин позволяет определить, какой из них следует руководствоваться при принятии конкретного решения, и эффективно осуществлять хозяйственную деятельность от отдельного предприятия до масштабов страны, опираясь на количественные взаимоотношения во всех аспектах хозяйственной деятельности. При этом для успешного функционирования какого-либо процесса должна соблюдаться дифференциация производительных сил (количество и разнообразие элементов в системе).

Результаты исследований могут использоваться специалистами, занятыми повышением эффективности проектирования, энергообеспечением и ресурсосбережением, эксплуатацией и модернизацией предприятий, городов, регионов, управлением безопасностью экономики и территорий.

Самая тяжелая ситуация при экономических кризисах складывается в регионах, в которых расположены градообразующие предприятия. Ограничение их видового разнообразия, игнорирование соотношения «крупное-мелкое» тормозят развитие России с темпами роста валового внутреннего продукта, характерными для развитых стран.

Идеология, опиравшаяся на Государственный план электрификации России (ГОЭЛРО), основывалась на опережающем росте электропотребления. Основные положения ГОЭЛРО: индустриализация опирается на опережающее развитие тяжелой промышленности; производство концентрируется путем сооружения промышленных комбинатов; строительство поселений на базе градообразующих предприятий; опережающее развитие электрификации при концентрации мощностей и централизации электроснабжения и др. Индустриализация предусматривала централизацию, отраслевой монополизм, градообразующую гигантоманию.

Покажем, что концепция индустриализации должна смениться распределенным подходом, что предполагает опору на ценологические законы, устанавливающие определенное видовое разнообразие и соотношение по параметру между крупным, средним и мелким.

План ГОЭЛРО опирался на первую научную картину мира, реализация которой дала возможность осуществить индустриализацию страны и опиралась на крупное, стремящееся к монополизму. Ликвидация мелкой генерации в городе и на селе нарушила *H*-ограничения, что в начале XXI в. исправляется. Голова же, строительство крупного, обязана ценологически быть, и строительство мощных электростанций – правильно в свое время.

В 1920–1980-х гг. считалось, что можно все запланировать. Но оказалось, что рассчитанный по формулам первой научной картины мира результат нельзя реализовать: неизбежны ошибки и отклонения по массе, габаритам, надежности, которые в пределах описываются нормальным законом распределения, где существуют математическое ожидание (среднее) и конечная дисперсия (ошибка).

Переход от вероятно-статистической картины к негауссовой ценологической, где отсутствует математическое ожидание, а дисперсия бесконечна, а это существенное отличие от картины мира, где существует жесткий набор формул для изготовления чего-либо, и вероятностно-статистических представлений электрических систем и сетей, опирающихся

на гауссову математику, позволяет специалистам всех отраслей знаний оценивать соотношения крупного и мелкого, единичного и массового, уникального и стандартизированного, государственного и индивидуального.

Здесь важно уточнить понятие «ценоз». Это могут быть выделенные по какому-либо параметру предприятия отрасли по стране, мелкие и средние (и отдельно – крупные) по региону; другие административно-хозяйственные единицы. Ценоз также – сообщество слабо связанных и слабо зависимых штук-изделий-особей, каждое из которых классифицируется по видам: электродвигатели завода, генераторы и прокатные станы страны; галактики – по массе, месторождения – по составу; опушка леса, биология болота; словарь и словоупотребление романа или документа; иерархическое место политического деятеля, государства при ранжировании. На все ценозы накладывается закон информационного отбора, устанавливающий определенное соотношение по разнообразию и соотношению «крупное-мелкое», моделируя это гиперболическим H -распределением (табл. 1) [6].

Таблица 1. Математическое представление H -распределения

Распределение	Ось абсцисс	Ось ординат	Форма записи
Видовое	Число изделий в виде (численность популяции). Дискретно	Количество видов с одинаковым количеством изделий*. Дискретно	$\Omega(x) = \frac{W_o}{x^{1+\alpha}}$
Ранговое видовое	Ранг. Дискретно	Количество изделий в виде**. Дискретно.	$\Lambda(r) = \frac{B}{r^\beta}$
Ранговое по параметру		Значение параметра***. Непрерывно	$W(r) = \frac{W_1}{r^\beta}$

Примечание: * x – численность вида; $\alpha > 0$ – постоянная распределения; W_o – количество уникальных видов или численность первой группы;

** $\beta > 0$, $B > 0$ – константы рангового распределения;

*** r – ранг объекта; W_1 – максимальное значение параметра, которому соответствует первый ранг; β – ранговый коэффициент, задающий форму аппроксимирующей кривой

Изучение, например, технических ценозов имеет преимущество в строгости перед другими: устоявшиеся представления о системе показателей и структуре производства, завода, отрасли, города, региона, государства; возможность отследить эволюцию вида вплоть до отдельного представителя. Существование и эволюция ценозов могут быть описаны системой показателей-параметров. Ранговое распределение по параметру дает возможность говорить об оптимальности, эффективности ценоза в целом.

Следующий шаг – не вовне, а внутрь: исследование структуры для установления соотношения «крупное-мелкое» и соотношения по разнообразию: 40–60 % видов редки (норевы) (это 10 % общей численности); 40–60 % массовы (саранчевы) (10 % видов). Так говорим об обязательности исследования структуры по параметрам в ряду других ценозов и видовой структуры единичного ценоза, не рассматривая здесь проблему его выделения.

Устойчивость видового распределения описывается моделью H -распределения, имеющей два основных параметра: размер R и характеристический показатель α . При этом выделяются три уровня: элемент (особь) – каста (группа видов, где каждый представлен одинаковым количеством элементов) – все множество (исследуемое семейство изделий-видов).

Устойчивость структуры проявляется изменениями H -распределения в пределах характеристического показателя $0,5 < \alpha < 2$.

Увеличение разнообразия увеличивает устойчивость системы; изоляция – останавливает развитие; конкуренция – повышает эффективность отбора. Теория

рекомендует оптимальные параметры проектируемого или созданного, оценивая каждое решение как шаг, соответствующий или не соответствующий некоторым количественным ограничениям гиперболического *H*-распределения (табл. 1). Эти ограничения оказались существенно нарушенными из-за концентрации производства, строительства только гигантов, монополизма, что являлось существом плана ГОЭЛРО и было характерно не только для промышленности. Разумный же подход – необходимое сочетание крупных, средних и мелких объектов.

Индустриализация это не учитывала, курс был взят на строительство гигантов, не соблюдая соотношение крупных, средних и мелких предприятий. Тенденции к монополизму и централизации электроэнергетики пагубны для страны.

Теоретическое соотношение 10 % по электропотреблению самых богатых регионов к 10 % самых бедных должно составлять 10–15. В 2010 г. оно приблизилось к 40. Поэтому необходимо перераспределение средств для реализации принципов Государственного плана рыночной электрификации России [7], ставящих целью электрифицировать всю страну.

Применение аппарата ценологической математики [1–9] позволяет выявлять аномальные точки для принятия эффективного решения. При принятии решения необходимо учитывать уровни системы электроснабжения, как наиболее объективной величиной, характеризующей физическое (население) и юридическое лицо:

90 % всех абонентов – население, бизнес (мини-предприятия), бюджетная сфера, жилищно-коммунальное хозяйство, питается на напряжении 0,4 кВ;

9 % – малые предприятия, имеющие собственные трансформаторы (малые предприятия, хозяйствующие единицы);

1 % – средние предприятия, имеющие собственные распределительные устройства среднего напряжения (3, 6, 10, 20 кВ).

Опираясь на изложенное, можно представить каждую реальность (физическую, биологическую, техническую, информационную, социальную) в виде триады:

– элементы-особи, отличающиеся друг от друга количественными параметрами (обязательно – качественно);

– неформализуемое сообщество элементов – ценоз;

– сфера как бесконечное множество вложенных ценозов. И следует говорить о трансдисциплинарном представлении такого объекта, опирающемся на третью научную картину мира и имеющем перспективы использования в различных областях деятельности.

Неизбежность разнообразия, необходимость выдерживать соотношение «крупное-среднее-мелкое» по определяющему параметру прослеживается до античности. Структурная устойчивость определенного класса объектов подтверждается распределениями (законами): доходов – Бальби (1830), Парето (1897), выдающихся ученых – Гальтона (1875), гравитационного поля звезд – Хольцмарка (1910), систем стенографии – Эсту (1916), биологических родов по числу видов – Виллиса (1922), Юла (1924), ученых по числу публикаций – Лотки (1926), слов по частоте употребления – Ципфа (1927), биологических особей, видов, родов, семейств – Вильямса и Фишера (1944), информационных массивов – Брэдфорда (1948), обобщенными законами Ципфа (1949) и Мандельброта (1952).

Приведенные примеры говорят об общности построения ценозов любой природы, что позволяет выйти на новый уровень принятия решений в различных областях знаний и делает необходимым оперирование третьей научной картиной мира, опирающейся на математический аппарат, который восходит к общей теории устойчивых распределений П. Леви (1924), рассмотренных Хинчиным, Колмогоровым, Гнеденко. Теория расширена открытием безгранично делимых распределений, что позволяло говорить о концепции негауссовости, опирающейся на предельную теорему Гнеденко–Деблина (1939).

Рассматривая структуру любого ценоза, можно говорить об *H*-анализе, *H*-прогнозе, *H*-оценке. Совпадение показателей не говорит об идентичности двух ценозов: необходимо ранжирование по нескольким параметрам для объективности оценки состояния ценоза и траектории его развития. Ценологический подход позволяет: выявлять механизм негауссовости по направлениям деятельности; объяснить формы устойчивости гиперболических

H-распределений; предложить модели и методы их использования и предсказания критического состояния ценозов; решать вопросы нормирования и рационального распределения ограниченных ресурсов. При этом два ценоза, описанных одной системой показателей, могут различаться сколь угодно сильно. Приведем основные положения научных картин мира.

Первая, физическая (механическая), картина мира Ньютона ввела идеальное понятие точки и оперировала с этим понятием, давая однозначные решения, обязательные в механике, электротехнике, в любых технических науках. И сегодня действуют принципы технического образования: все рассчитываемо, регламентируемо, определяемо. Убеждение в однозначности ответов при одних исходных данных стало основой и экономических представлений и распоряжений Правительства Российской Федерации.

Вторая картина мира Эйнштейна-Бора ввела вероятностные представления в описание физического, затем и биологического, технического, информационного и социального миров. Но предполагалось, что действуют центральная предельная теорема и закон больших чисел. Следовательно, можно было оперировать математическим ожиданием события и, хотя и вероятностной, но конечной ошибкой. Появление вероятностных представлений не изменило мышления. Точнее, в представлениях людей мир, особенно технический, оставался численно представимым: все можно подсчитать и измерить, пусть с ошибкой, но укладывающейся в понятие «плюс-минус».

Третья картина мира, основанная на принципах глобального эволюционизма, по академику РАН В.С. Степину, отличается «усилением междисциплинарного синтеза знаний. Этот этап характеризуется уменьшением уровня автономности специальных научных картин мира и восстановлением общенаучной картины мира как единого системного образа». Новая парадигма вводит технический мир в общую единую картину мира, показывая, что техническое в процессе своего развития создало техноценозы, а они обладают такой же структурной общностью, как физхимценозы. Техноценозы и биоценозы с одной стороны от них, и информценозы и далее – социоценозы, с другой, описываются единым статистическим аппаратом, точнее – параметры самоорганизации ценозов находятся в одних пределах.

Помимо общности процессов управления и связи, существует общность структуры ценозов любой природы, что и дало основание для использования биотерминов при описании технического мира. Мир описывается моделями *H*-распределения, характерными особенностями которых являются неприменимость понятия «среднего» (отсутствие математического ожидания), возможность сколь угодно большой ошибки (бесконечность дисперсии) при решении любого вопроса (решение в точке неопределенно). Прогнозировать, используя математический аппарат, возможно, руководствуясь кривой в целом, тенденцией поведения саранчевых (массовых) и новых (единичных, уникальных) каст и движением множества особей (видов) относительно поинтер-точки *H*-распределения. С общесистемных позиций устойчивость и эффективность ценоза тем выше, чем большим разнообразием элементов он характеризуется, а с точки зрения унификации – необходимо в нем все сделать одинаковым.

Возвращаясь к электрификации, подчеркнем, что ГОЭЛРО провозглашал электрификацию, но экономически и технически не рассматривал мелкое и отдаленное. Решение о строительстве Саяно-Шушенской ГЭС 6 млн кВт было правильным и находилось в русле индустриализации. Но надежность электроснабжения глубинки, малых поселений, энергетическая безопасность России требуют сооружения 1 млн генераторов по 6 кВт, распределенных по стране и работающих на традиционном, возобновляемом, вторичном энергоресурсе.

Оценивая и прогнозируя электропотребление потребителей, следует рассматривать электрификацию региона, опираясь на ценологические представления, что обеспечит электроэнергетическую самодостаточность и безопасность территорий.

Тогда применительно к регионам задача разбивается на две:

– обеспечение тепловой и электрической энергией городов и крупных (средних и мелких) промышленных и иных объектов, – здесь необходима ревизия источников энергии и ценологический анализ того, что нужно для энергетической самодостаточности;

– ориентирование электрификации глубинки на развитие сетей и массовую малую генерацию на основе традиционного углеводородного сырья и использование местных и возобновляемых источников энергии. Это также обеспечит надежное электроснабжение семьи и частного в глубинке. Задача: электрифицировать Россию и охватить инфраструктурой глубинку. От деградации из-за заброшенности глубинки необходимо перейти к эволюционной модели модернизации, которая не удалась последние 90 лет.

Чтобы система функционировала и развивалась, должно быть определенное разнообразие среди общего количества элементов и определенное соотношение между крупным и мелким. Если это нарушается, то система переходит в неустойчивое состояние. Неучет ценологического мировоззрения при принятии законодательных и исполнительных решений задерживает инновационное развитие России и не дает осуществить в стране индустриализацию. Результаты его применения объясняют, например, некоторые ошибки индустриализации (гигантомания, монополизм) и коллективизации (ликвидация мелких хозяйств), и определяют составляющие перестройки экономики на современном этапе.

При этом органы власти игнорируют фундаментальность ценологического закона о соотношении «крупное-среднее-мелкое», забывая, что 60–90 % валового внутреннего продукта в развитых странах дает малый и средний бизнес.

Внедрение предлагаемого научно-методического подхода повышает обоснованность расчетов и качество решений. Ниже приведены доказанные соотношения в отдельных аспектах хозяйственной деятельности как необходимое условие экономически выгодного ведения хозяйства, позволяющие управлять хозяйственным механизмом:

– на одну электростанцию мощностью 10 тыс. МВт должно быть построено 10 электростанций по 1 000 МВт, 100 по 100 МВт и 10 млн станций мощностью по 1 кВт каждая, что и составляет существо ценологически распределенной генерации и сетей. Такое соотношение должно лежать в основе построения любой отрасли. Соблюдение пропорций даст экономике страны наивысший экономический выигрыш. Нужна новая индустриализация страны, реконструкция ее базовой структуры, прежде всего, энергетической, транспортной;

– для реализации программы энергосбережения для совокупности объектов следует выделять 5–7 % объектов, за счет которых можно получить экономию электроэнергии не менее 50–60 %, а на объектах – 5–7 % энергоемких потребителей;

– раздельное прогнозирование наиболее энергоемкого (системообразующего) и других объектов с учетом оптимальной длины предыстории уменьшает ошибки прогнозирования в 5–7 раз и повышает точность прогнозирования их параметров электропотребления.

В условиях нестабильного развития экономики электропотребление наиболее устойчиво во времени (снижается лишь на 20 % при падении производства на 50 %);

– система устойчива, если при видовом ее моделировании 40–60 % видов относится к уникальным (новым, редким) (5–10 % общей численности), и 60–40 % общего количества их представителей попадает в часто встречающиеся группы (5–10 % видов). Прогнозирование численности видов позволяет определить список и параметры конкретных видов (качественную характеристику), а также количество их представителей и периодичность появления.

Любой ценоз с нарушением этого соотношения переходит в неустойчивое состояние;

– распределение трудоемкости работ при реализации проектных решений инфраструктурных объектов: 40–60 % общего количества видов работ уникальные, требующие квалификации; и 10 % содержит до 60 % всех работ (массовых), – устойчивость этой группы позволяет повысить эффективность деятельности должностных лиц за счет рациональной организации и производительность труда не менее чем на 20 %);

– основой выбора системы электроснабжения является обеспечение бесперебойной работы объекта. При построении схемы электроснабжения, с одной стороны, следует учитывать, что стоимость системы электроснабжения, например, металлургического

предприятия, составляет 2–5% от сметной стоимости его строительства, то есть невелика (абсолютная величина велика и составляет десятки миллионов рублей), с другой, что ущерб от пониженного качества электроэнергии может превосходить затраты по повышению надежности.

Повышение надежности системы связано с увеличением затрат, которые возрастают относительно быстрее, чем повышается надежность. Поэтому ставится вопрос о научно обоснованной, в определенном смысле оптимальной, норме надежности. Это особенно относится к электроснабжению потребителей, от бесперебойности питания которых зависит жизнь людей или сохранение больших материальных ценностей;

- в условиях экономических кризисов ценологически правильно помогать банкам, располагающимся возле пойнтер-точки, годами не меняющими свое среднее рейтинговое место, несмотря на скачки рейтинга;

- в городе наиболее ходовые товары составляют 5–10 % от всего выпускаемого ассортимента, но производить их должны 40–60 % действующих в городе предприятий. И наоборот, наименование товаров, не имеющих широкого спроса, составляет 40–60 % от всей номенклатуры, а производить их должны 5–10 % всех предприятий. Это обеспечит жителей города всеми видами товаров и услуг и процветание производства и сферы быта;

- в организациях 40–60 % видов должностных лиц уникально, и 40–60 % общего количества наименований является часто встречающимися (5–10 % числа видов должностей);

- оценка крупных заводов по выбрасываемым ими при производстве вредным веществам и газам и по выбросам в атмосферу по параметру «объем, м³» показала необходимость проведения модернизации тех 10 % предприятий, которые дают не менее 60 % выбросов, создающих неблагоприятную обстановку на предприятии и в атмосфере;

- ценологическое распределение протяженности автомобильных дорог по техническим категориям характеризуют 5–10 % уникальных сверхмощных I, II категории; а 90–95 % – массовых, ординарных III–V категорий. Целевой индикатор дорог – обеспеченность населенных пунктов круглогодичным доступом к основным транспортным магистралям. В стране не соединена с общедорожной сетью значительная часть районных центров, не говоря о наличии бездорожья сотен тысяч населенных пунктов (1996 г. – 400 тыс.) и 8 % райцентров. Социальных дорог необходимо построить 850 тыс. км. Затраты на Олимпиаду в 2014 г. составили, согласно интернету, 1,526 трлн руб. Дороги категории I стоят 50–80 млн руб. за 1 км; V – 3 млн; грейдерная с отсыпкой щебня – порядка 1 млн руб. за 1 км. «Эксперт» (2013 г., № 49) назвал 20–40 млн руб. стоимость 1 км двухполосной дороги и необходимость построить не менее 1 млн км автотрасс для социально-экономического развития России.

В СССР ежегодно вводилось 10–12 тыс. км дорог общего пользования. Сейчас около двух тысяч км. Уже есть отказы от инновационных проектов – продукцию не вывезти. А глубинка – без электричества и дорог, без школ, без почты, фельдшеров, магазинов, полиции;

- для нормального развития общества должен быть определенный процент очень богатых граждан, обширный средний класс и соответствующее количество людей небольшого достатка. Беда современного положения – в малочисленности среднего класса: необходимо перераспределение средств для электрификации страны, охват инфраструктурой и услугами глубинки, доведение среднего класса до 60 %. Согласно ценологии, наивысшая по доходам группа населения не должна быть богаче наибеднейшей более чем в 10 раз, тогда как эта разница более чем в 20 раз. Ценология указывает пропорции, при которых система устойчива. Власти могут построить *H*-распределение по доходам по стране и по регионам, чтобы учитывать объективно существующие ограничения при принятии решений, касающихся социальных проблем общества. На сегодня ценологическая устойчивость (по Парето) отсутствует, а распределение доходов не обеспечивает стабильное развитие общества.

Другие примеры, подтверждающие всеобщность ценологического мироустройства:

– у нас в обрабатывающей промышленности занято 3,5 % малых предприятий. На «Боинг» работает 40 000 малых предприятий; на «Тойоту» – 30 000; на «Сименс» – 10 000. При этом семейство Superjet 100 (ЗАО «Гражданские самолеты Сухого») проектировалось с участием более 20 компаний, поставляющих различные узлы и агрегаты. Налицо понимание необходимости опираться на новое разнообразие, но не упускать саранчевость, обеспечивающую эффективность;

– в США до половины добытой нефти приходится на небольшие компании, занимающиеся мелкими месторождениями, трудными участками средних и крупных объектов. За 10 лет их доля упала с 10 до 3 %, сейчас – 26 тыс. неработающих скважин; недополучение – 10–15 млн т. Малое более эффективно по трудозатратам и себестоимости (Эксперт. 2012, № 27);

– компания «Брок-Инвест-Сервис» инвестирует завод производительностью 25 тыс. т проката в год, ориентируясь на разнообразие запросов потребителей – небольшие партии каждого конкретного сорта. Называют одинаковую долю обработки металла (30–40 %) для выживания и развития металлосервисной компании (ценология прорвалась. 4 июня 2012 г.);

– «Субъективность многослойная: скажем, Нью-Йорк Драйзера и Нью-Йорк О. Генри – города хоть и одной эпохи, однако не только разные, но и для каждого – особые» (П. Вайль). Это и есть несистемные свойства ценоза: субъективность границ и представлений такая, что у электрики Запсиба одна граница, у теплосиловиков, генплана – другая. А главный энергетик страны и главный энергетик Магнитки по видам деятельности не сопоставимы.

Перечисленные соотношения составляют существо ценологических представлений и соответствуют *H*-распределению. Ценология (технетика) вносит научную строгость в соотношения рассматриваемых категорий крупного и мелкого, массового и единичного, уникального и стандартизированного. Неучет ценологического мировоззрения при принятии законодательных и исполнительных решений задерживает инновационное развитие страны.

Ниже рассмотрены примеры управленческих решений применительно к проблемам промышленности и экономики, нарушающих ценологические закономерности:

– ледяной дождь оставил без света на недели 412 тыс. чел. в пяти областях. Монополизм электроэнергетики не спас положение. Ошибочно соорудать для повышения надежности гигантские тепловые и атомные электростанции, кольцо 750 кВ вокруг Москвы (кольцо 500 кВ есть), кольцо вокруг Санкт-Петербурга, тащить линии электропередачи из Сибири. В ближайшие десятилетия сменится ценоз, основанный на гигантах, нефти и газе. Уже в мире осуществляется переход к ценологически выстроенным распределенной генерации и сетям, ориентированным на индивидуальные потребности коммерции, 40 %, и населения, 30 %. Чтобы ее в России осуществить хотя бы за 50 лет, надо начинать сейчас (2011 г.);

– в России более 100 авиакомпаний. Как и требуют ценологические представления, на 10 % из них приходится 90 % объема перевозок. Однако мнение Росавиации: оставить компании, у которых по 20 самолетов. Очередной выверт гигантомании, ведущий в тупик;

– власть планирует укрупнение банков. Чистка затронет не более 10 % совокупных активов, но это десятки и сотни небольших банков в регионах, обслуживающих малый и средний бизнес. Оказывается государственная поддержка банкам, капитал которых свыше 3,5 млрд руб. Средним банкам с капиталом 90–180 млн руб. помогать не будут. Эксперты говорят, что 150 мелких (хвост *H*-гиперболы) уйдут с рынка. Принятое решение снижает устойчивость банковской системы (2009 г.);

– страна импортирует половину продовольствия, 70 % овощей и фруктов на 40 млрд долл. ежегодно (Аргументы и факты, № 28, 2014 г.). У нас 10 % мировой пашни, 55 % мировых запасов чернозема. Сельчан 38 млн чел. В аграрной сфере задействовано 6,3 млн чел., с высшим аграрным образованием 1,6 млн, вдвое больше, чем в США. Поддержка сельского хозяйства в 33 раза ниже, чем в Китае; в 24,5 раза – чем в ЕС (2013 г.). Проблема в том, что для сельских территорий (98 % земельного фонда) не существует комплексной программы развития: нет ответственного за ввод в хозяйственный оборот земель, за рост работоспособного населения на сельских территориях и др.;

– в границах Российской Федерации в 1913 г. проживало 94 млн чел. (в Империи – 174 млн). Относительная численность сословий: крестьян 77,1 %, мещан 10,6 %, инородцев 6,6 %, казаков 2,3 %, духовенство 5 %, прочих 8 %. И в голову не могло прийти нарушение ценологического соотношения: концентрация населения вокруг Москвы. Многочисленными были: Киевская, Волынская, Подольская губернии. Потом, среди прочих, шли Московская и Петроградская (ранговое *H*-распределение. 12 января 2013 г.);

– за последние 20 лет в России умерло 20 тыс. деревень (рубят хвост. 3 сентября 2013 г.);

– целевые показатели Программы модернизации электроэнергетики на период до 2030 г., млрд кВтч: тах сценарий долгосрочного прогноза социально-экономического развития страны – 1810, min сценарий – 1430 млрд кВтч; базовый вариант Генеральной схемы размещения объектов электроэнергетики – 1 553 (ИНП РАН). Ценология называет 1 200;

– под оптимизацию попала большая часть граждан. Объединение школ, детских садов, больниц лихорадит население. Десятками закрываются маленькие, почти домашние, сельские дома ухода за одинокими стариками, а постояльцев гонят за много километров в железобетон, где нет душевного подхода (Московский комсомолец, 26 апреля 2014 г.);

– в 2007 г. принято решение о закрытии 6 000 школ, где учатся менее 10 учащихся. В стране нет программы сохранения и восстановления глубинки и малого бизнеса, основанной на ценологических ограничениях на пастбищное хозяйство, дороги, электрификацию;

– на заседании по реформированию министр МВД сообщил, что принцип доступности полиции нарушен: «В удаленных поселениях, чтобы подать заявление о преступлении, надо проехать десятки и сотни километров» (ценология констатируется. 3 июля 2012 г.);

– за пределами мегаполиса открывается социально-экономическая пустыня с бездорожьем, безденежьем, нищающим сельским населением. Расширение Москвы до 35 млн чел. на фоне пустеющей сельской местности, где центрами роста были малые города, – это тупиковый путь (23 мая 2012 г.);

– «в отдаленных сельских поселениях содержать мощные пожарно-спасательные подразделения дорого и неэффективно» (МЧС России, АиФ, № 17, 2015 г.). Создание в конкретном месте противопожарной службы или ее элемента обходится в десятки миллионов рублей, но ущерб от пожаров может быть велик и превосходить затраты на создание и содержание пожарно-спасательных подразделений. Повышение пожарной безопасности связано с увеличением затрат, которые возрастают относительно быстрее, чем повышается пожарная безопасность. Поэтому требуется ставить вопрос о научно обоснованной оптимальной ценологической структуре пожарно-спасательных подразделений. На 22 апреля 2015 г. в Хакасии одновременно вспыхнули 40 населенных пунктов, заживо сгорели 30 человек, сгорели 1 285 домов, предварительный ущерб составил 7 млрд руб. – треть доходной части бюджета Хакасии на 2015 г., на 610 млн руб. пострадало сельское хозяйство. Огненная стихия уничтожила более 2,4 тыс. домов на юге Сибири, в Забайкалье пострадали более 21 тыс. человек.

Строя зависимости «ранг–размер» для различных отраслей, регионов, стран, можно понять, чего не хватает, в каком диапазоне должны лежать желаемые инновации.

Состояние энергетики не напрасно вызывает тревогу – 2/3 территории страны, где проживает 20 млн чел., не электрифицировано, 11 тыс. поселений исчезло за последние 13 лет. В индустриальную эпоху энергетические гиганты меняли ситуацию. В постиндустриальную эпоху зависимость «ранг–размер» для энергетических мощностей должна соответствовать таковой зависимости для численности жителей населенных пунктов. У распределения энергомоцностей нужно «отрастить хвост». На один генератор мощностью 1 млн кВт должно приходиться 10 генераторов по 100 тыс. кВт, 100 – по 10 тыс. кВт, 1 000 – по 100 кВт, 100 тыс. – по 10 кВт и миллион – по 1 кВт. Нужен новый план ГОЭЛРО, новая индустриализация. Выстраивание *H*-кривой, начиная с единичных (новых) крупных электростанций и заканчивая саранчевыми хвостами генерирующих мощностей ряда 5-10-20-50-1000 кВт и т.п., обеспечит электроэнергетическую безопасность регионов.

Формулируя задачи развития топливно-энергетического комплекса, необходимо опираться на ограничения *H*-распределения и ориентироваться на изменение доли

потребления энергии коммунально-бытовым сектором и приравненными к нему малыми предприятиями, объектами здравоохранения, торговли и другими объектами, питающимися на напряжении 0,4 кВ. В перспективе доли промышленности и населения должны поменяться местами: в энергетической программе важно пересмотреть структуру электропотребления.

Электрическая генерация, использующая возобновляемые, вторичные источники энергии и малую на традиционных видах топлива, завершит электрификацию и даст работу частному сектору. Массовая бедность, а не дефицит капиталов или технологий, является препятствием к тому, чтобы стать высокоразвитой страной. Решить эту проблему, только перераспределяя доходы в пользу бедных, нельзя. Нужно устранить причины бедности, которые лежат в структуре экономики, в неравномерности развития регионов, в количестве и качестве рабочих мест. Для России территориальная справедливость, реализуемая через механизмы выравнивания пространственного развития, чтобы обеспечить более равный доступ к общественным благам для людей, живущих на разных территориях, более затретен как подход, и ценологически неверен. Все упирается в децентрализацию управления и дерегулирование.

Предлагаемый научно-методический подход оценки структуры экономики региона позволяет обосновывать устойчивые и формировать эффективные многоуровневые структуры и системы для всех сфер реальностей, оценивать и сравнивать эффективность систем и объектов, управлять отбором (развитием), прогнозировать их развитие.

Техно(ценология) устанавливает количественные взаимоотношения во всех аспектах хозяйственной деятельности как необходимое условие экономически выгодного ведения хозяйства любой отрасли, позволяет управлять хозяйственным механизмом и реализовать проявление узловых точек научно-технического прогресса.

Литература

1. Кудрин Б.И. Применение понятий биологии для описания и прогнозирования больших систем, формирующихся технологически // Электрификация металлургических предприятий Сибири. Томск: Изд-во ТГУ, 1976. Вып. 3. С. 171–204.
2. Седнев В.А., Кудрин Б.И. Техноценологическая теория и ее применение для обеспечения электроэнергетической безопасности и устойчивого и эффективного экономического развития страны // Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций. 2015. № 6. С. 86–101.
3. Седнев В.А., Кудрин Б.И. Техноценологическая теория и ее применение для оценки управленческих решений и к проблемам развития территорий страны // Известия Российской академии ракетных и артиллерийских наук. 2015. № 4 (89). С. 93–100.
4. Кудрин Б. И. Введение в технетику. Томск: Изд-во Томского гос. ун-та, 1991. 384 с.
5. Седнев В.А. Техноценологическая теория и ее значение для устойчивого и эффективного развития Российской Федерации // Промышленная энергетика. № 9. 2015. С. 32–37.
6. Гнеденко Б.В., Колмогоров А.Н. Предельные распределения для сумм независимых случайных величин. М.: Гос. изд-во техн. лит., 1949. 264 с.
7. Кудрин Б.И. Третья научная картина мира как теоретическая основа электрификации России до 2040 года // Экономические проблемы отраслей топливно-энергетического комплекса: открытый семинар от 16 марта 2016 г. при поддержке Российского гуманитарного научного фонда (руководитель – академик РАН В.В. Ивантер). М.: Изд-во Института народнохозяйственного прогнозирования РАН, 2016. 54 с.
8. Онтология технической реальности и понятийное сопровождение ценологического мировоззрения. Математический аппарат структурного описания ценозов и гиперболические Н-ограничения. Вып. 19: Ценологические исследования. М.: Центр системных исследований, 2002. 628 с.
9. Кудрин Б.И., Седнев В.А., Воронов С.И. Семнадцать лекций по общей и прикладной ценологии: монография. М.: Акад. ГПС МЧС России, РАН, 2014. 227 с.

ГОРНОСПАСАТЕЛЬНОЕ ДЕЛО. ОХРАНА ТРУДА

К ВОПРОСУ О СОСТОЯНИИ ОХРАНЫ ТРУДА, ПРОГНОЗИРОВАНИИ ГИБЕЛИ И ТРАВМАТИЗМА СРЕДИ ЛИЧНОГО СОСТАВА МЧС РОССИИ

Е.Н. Тужиков, кандидат технических наук;

В.В. Хрулев.

Уральский институт ГПС МЧС России.

С.В. Безнедельный.

Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России

Приводится общая характеристика состояния охраны труда в системе МЧС России, производственного травматизма и гибели среди личного состава за последние девять лет. Кратко обосновывается методика анализа и прогноза, установлены математические модели краткосрочного прогнозирования и выполнен прогноз на 2018 г. Приведены модели прогноза для предельных значений параметров гибели и травматизма среди личного состава МЧС России. Обоснованы эффективные пути профилактики охраны труда в подразделениях МЧС России.

Ключевые слова: охрана труда, гибель, травматизм, прогнозирование, математическая модель, личный состав, анализ, метод

TO THE QUESTION ABOUT THE STATE OF LABOUR PROTECTION, THE PREDICTION OF DEATHS AND INJURIES AMONG THE PERSONNEL OF EMERCOM OF RUSSIA

E.N. Tuzhikov; V.V. Khrulev. Ural institute of State fire service of EMERCOM of Russia.

S.V. Beznedelny. Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia

In article the general characteristic of a condition of labor protection is given in the system of EMERCOM of Russia, operational injuries and death among staff for the last 9 years. Briefly the technique of the analysis and forecast is proved, mathematical models of short-term forecasting are established and the forecast for 2018 is executed. Forecasting models for extreme values of parameters of death and traumatism among staff of EMERCOM of Russia are given. Effective ways of prevention of labor protection in divisions of EMERCOM of Russia are proved.

Keywords: labor protection, death, injuries, forecasting, mathematical model, personnel, analysis, method

Обеспечение приоритета жизни и здоровья граждан является одним из основных направлений государственной политики Российской Федерации [1].

Так, стремительное развитие науки и техники, совершенствование всесторонней безопасности общества приводит к росту новых видов угроз для человека и природы, что дает начало созданию совершенно иной окружающей среды существования человека – техносферы.

Множество явлений и процессов, происходящих в техносфере, описываются с помощью статистики. Грамотное изучение и использование статистических данных позволяет, в целях поддержания баланса в системе, воздействовать на эти процессы.

В границах системы охраны труда важными направлениями будут: объективный анализ исходных данных, а также предвидение гибели и травматизма на производстве. Решение этих задач обеспечивает подготовку основы для разработки превентивных мероприятий, снижающих гибель людей и производственный травматизм в любой производственной отрасли и сфере деятельности.

В современном мире информатизации и развития технологий широко применяются математические модели, используемые в различных социально-экономических системах как инструмент управления.

Охрана труда является одним из важных направлений работы Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий (МЧС России) [2]. Вопросы охраны здоровья, профилактики травматизма и гибели личного состава являются наиболее значимыми и актуальными. При этом одной из приоритетных задач, которая ставится перед руководством МЧС России, является соблюдение требований в области охраны труда и обеспечения безопасности личного состава [3].

Проблема охраны труда как системы обеспечения безопасности и здоровья личного состава в процессе трудовой деятельности стоит особенно остро. Это связано с тем, что работа пожарных-спасателей связана с выполнением служебных обязанностей в условиях крайней неопределенности и характеризуется сложностью, психологической напряженностью и высокой степенью опасности. В настоящее время полностью исключить случаи гибели и травматизма не представляется возможным.

В связи с вышесказанным, одним из главных показателей состояния охраны труда является количество погибших и травмированных среди личного состава МЧС России в результате несчастных случаев, произошедших при исполнении служебных обязанностей.

Об этом свидетельствует статистика травматизма и гибели среди личного состава МЧС России за последние девять лет [4–7], представленная на рис. 1, 2.

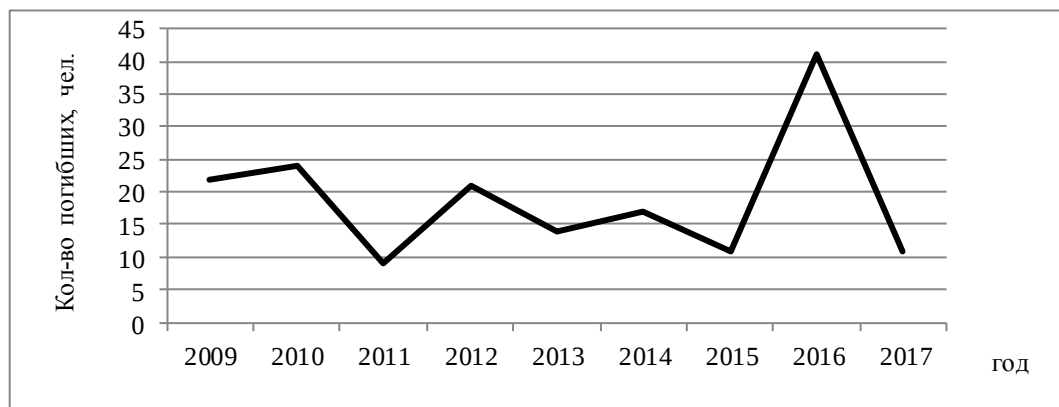


Рис. 1. Количество погибших среди личного состава МЧС России за 2009–2017 гг.

Из рис. 1 видно, что наблюдается тенденция к сохранению уровня количества погибших сотрудников и работников при выполнении служебных обязанностей на достаточно высоком уровне. Статистика подтверждает то, что профессия пожарных-спасателей неразрывно связана с риском для жизни.

Основные причины несчастных случаев с гибелью многофакторные и включают в себя недостатки в обучении безопасным приемам труда, неудовлетворительную организацию боевой и хозяйственной работы, учений, спортивных мероприятий и личную неосторожность погибших.

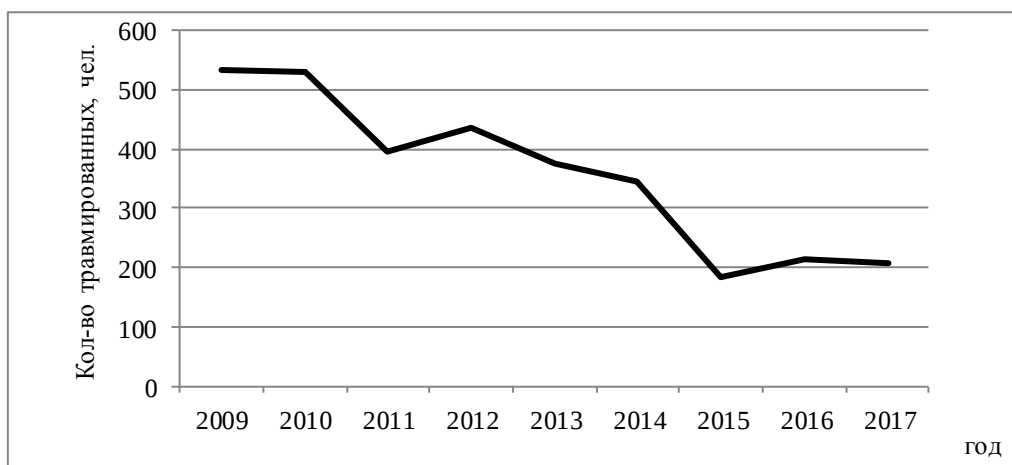


Рис. 2. Количество травмированных среди личного состава МЧС России за 2009–2017 гг.

Из рис. 2 видно, что наблюдается тенденция к снижению уровня количества травмированных среди личного состава МЧС России при выполнении служебных обязанностей. Но при этом остается достаточно высокой.

Основными причинами травматизма личного состава МЧС России за последнее время явилась личная неосторожность и нарушения требований охраны труда [3–7].

По итогам системного анализа статистических данных сформулирована основная цель научной работы: построение математических моделей предполагаемого количества погибших и травмированных среди личного состава МЧС России на 2018 г., используя различные методы прогнозирования.

Основные задачи исследования:

1. Выбор и описание методов прогнозирования.
2. Формирование математических моделей прогнозируемого количества погибших и травмированных среди личного состава МЧС России.
3. Вычисление прогнозируемых значений количества погибших и травмированных среди личного состава МЧС России на 2018 г.
4. Представление эффективных путей профилактики охраны труда в подразделениях МЧС России.

Целью любого прогнозирования является выявление текущей тенденции и определение предполагаемого результата в отношении изучаемого объекта на определенный момент времени в будущем [8].

В целях автоматизации процесса всех вычислений будем использовать пакет Microsoft Excel (MS Excel), содержащий в себе функции прогнозирования.

Это можно осуществить графическим способом, применив линию тренда и аналитическим – посредством имеющихся в MS Excel статистических функций. Обработав одни и те же исходные данные рассматриваемыми ниже операторами, можно получить разные результаты, потому что они применяют различные подходы к вычислениям. Если отклонение невелико, то все опробованные в данном исследовании подходы принимаем правильными.

Способ 1: экстраполяция, выполненная построением линии тренда

Способ используется в рамках разумного предположения в том случае, если факторы, влияющие на изменение исходных данных за расчетный период, остаются неизменными. Разумеется, если пытаться продолжить прямую линейного тренда, то, вероятно, что какие-либо из имеющихся факторов, влияющих на изменение данных, в свою очередь, изменятся или возникнут новые факторы, также влияющие на изменение наблюдаемой величины.

Таким образом, данный метод пригоден лишь для краткосрочных прогнозов при условии неизменности влияющих факторов.

На рис. 3 представлен график прогнозируемого количества погибших в 2018 г.

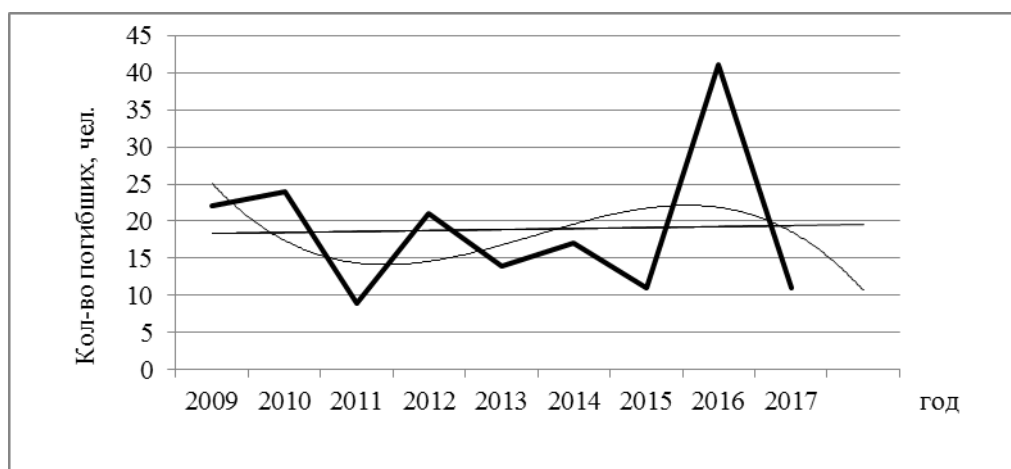


Рис. 3. Полиномиальная линия тренда третьей степени

Используя полученный график, можно по нему предположить примерное значение величины гибели в 2018 г. (по итогам 2018 г.). Из рис. 3 видно, что она должна составить примерно 11–12 человек.

Уравнение (1) представляет собой регрессионную математическую модель прогноза количества погибших среди личного состава МЧС России:

$$y = -0,2214x^3 + 3,6378x^2 - 17,046x + 38,73. \quad (1)$$

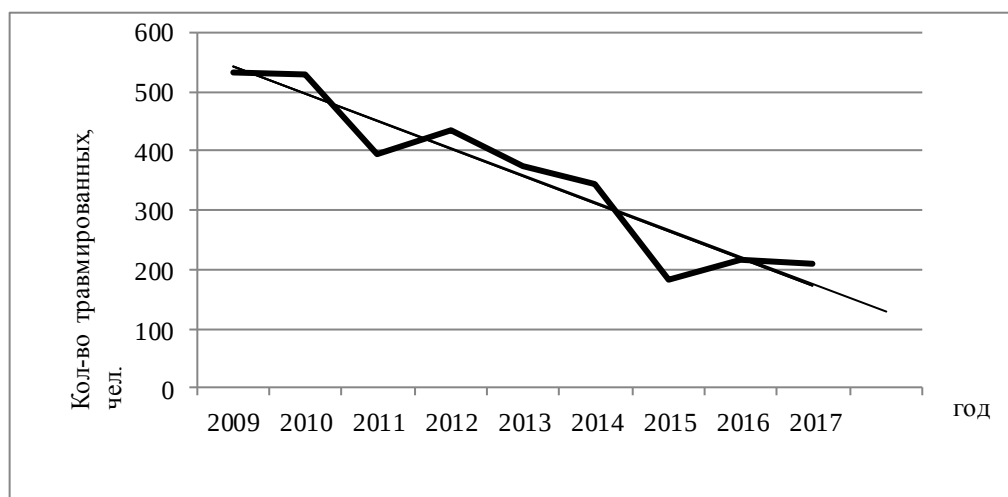


Рис. 4. Линейная линия тренда

Уравнение (2) представляет собой регрессионную математическую модель прогноза количества травмированных среди личного состава МЧС России:

$$y = -46x + 587,44. \quad (2)$$

Величина достоверности аппроксимации – коэффициент R^2 показывает, насколько линия тренда качественна. Получили R^2 , равный 0,8967, что больше 0,85. Таким образом, можно утверждать, что построенная линия тренда является достоверной [9–12].

Следует отметить, что прогнозирование посредством построения линии тренда будет эффективным, когда срок предсказания не составляет более 30 % от исследуемого периода времени. Так, при исследовании отрезка времени в девять лет невозможно осуществить эффективное прогнозирование свыше 2–3 лет. При этом прогноз также будет достоверным частично. Это связано с тем, будут ли за это время изменения среди факторов и условий, влияющих на искомую величину, которые отсутствовали в предыдущие годы.

Результаты прогнозирования гибели и травматизма на 2018 г. изложены в таблице.

Способ 2: оператор «ПРЕДСКАЗ»

Предсказание вовсе не обязательно должно быть линейным. В качестве модели можно использовать полином любого порядка, что приведет к концепции интерполяционного подразделения. При этом осуществляется аппроксимация исходного сигнала функцией, определенной на всей вещественной оси.

В данном случае также интервал времени до предполагаемого срока не должен превышать 30 % от всего исследуемого времени, за которое аккумулировалась база исходных данных.

Результаты исследования, полученные данным способом, изложены в таблице.

Способ 3: оператор «ТЕНДЕНЦИЯ»

Данный оператор является статистической функцией, эффективно используемый при наличии линейной зависимости. С его помощью рассчитывают будущие значения исследуемой величины в соответствии с линейным трендом. Применяется метод наименьших квадратов. Функция аппроксимирует прямой линией диапазоны имеющихся значений x и y . Прогнозирует значения y , соответствующие данной линии, для новых значений x . Но получить математическое описание и статистическую характеристику модели тренда посредством данной функции невозможно.

Результаты исследования, полученные данным способом, изложены в таблице.

Способ 4: оператор «РОСТ»

Функция прогноза экспоненциального роста также является статистическим инструментом, встроенным в MS Excel. Отличием от ранее рассмотренных операторов является то, что в расчетах применяется метод экспоненциальной зависимости, в отличие от линейной. Поэтому полученные результаты незначительно отличаются от значений, полученных с помощью оператора «Тенденция».

Расчетные значения гибели и травматизма на 2018 г., полученные данным способом, представлены в таблице.

Способ 5: оператор «ЛИНЕЙН»

Рассматриваемая функция рассчитывает статистику для ряда с применением метода наименьших квадратов, вычисляя прямую линию, которая наилучшим образом аппроксимирует имеющиеся данные. Функция MS Excel возвращает массив, который описывает полученную прямую.

Расчетные значения гибели и травматизма на 2018 г., полученные данным способом, представлены в таблице.

Способ 6: оператор «ЛГРФПРИБЛ»

Функция «ЛГРФПРИБЛ». При данном способе вычисления проводятся с помощью метода экспоненциального приближения. В регрессионном анализе вычисляется

экспоненциальная кривая, аппроксимирующая данные, и возвращается массив значений, описывающий эту кривую. Поскольку данный оператор возвращает массив значений, она должна вводиться как формула массива [13, 14].

Оператор «ЛГРФПРИБЛ» построит экспоненциальный тренд, показывающий, как изменится количество погибших и травмированных за один год.

Результаты исследования, полученные данным способом, изложены в таблице.

**Таблица. Рассчитанные значения по гибели и травмированию
среди личного состава МЧС России на 2018 г.**

Категория	1 способ	2 способ	3 способ	4 способ	5 способ	6 способ	среднее
Гибель, чел.	20	20	20	16	12	11	17
Травматизм, чел.	128	128	128	168	162	142	143

Из таблицы видно, что при расчетах рассмотренными способами получаются различные значения: по гибели в границах от 11 до 20 человек, а по травмированию – от 128 до 168 человек. В данном случае правильно говорить об интервалах прогнозируемого значения, так как невозможно учесть все факторы, влияющие на искомую величину в предыдущие периоды времени и в будущем.

Таким образом, используя математический аппарат, можно спрогнозировать на короткий период достаточно точно, при условии наличия достоверной статистической базы, показатели по гибели и травматизму. Получив искомые данные, можем оценить эффективность работы по охране труда в подразделениях МЧС России и наметить основные направления в перспективе, то есть осуществить превентивные мероприятия.

Важно учитывать, что основная работа личного состава МЧС России связана с частым реагированием на различные чрезвычайные ситуации (ЧС), связанные с тушением пожаров и проведением аварийно-спасательных работ. Работа пожарных-спасателей проходит в постоянно меняющейся обстановке, в экстремальных условиях, опасные и вредные производственные факторы формируются стихийно, риск получения травм возрастает многократно. Пожарным приходится быстро и решительно действовать в критических ситуациях, зачастую, рискуя своей жизнью ради спасения других жизней. Труд пожарных, особенно при тушении пожаров, отличается большой сложностью, сопровождается воздействием самых разнообразных опасных и вредных производственных факторов, большими физическими и нервно-психологическими нагрузками. Поэтому несмотря на все принимаемые меры, направленные на снижение количества погибших и травмированных, личный состав ежегодно получает травмы при несении службы, тушении пожаров и ликвидации последствий ЧС, что связано со сложностью и психологической напряженностью работы, а также с высокой степенью опасности.

Исходя из анализа основных причин и прогноза гибели и травмирования среди личного состава подразделений МЧС России на 2018 г., в целях снижения их количества авторы предлагают следующие превентивные мероприятия:

- не допускать пренебрежения средствами индивидуальной защиты (СИЗ), а также низкого контроля со стороны старших должностных лиц на ЧС за использованием личным составом СИЗ;
- не допускать формализма при проведении расследования несчастных случаев руководителями подразделений;
- предусмотреть в подразделениях отдельные должности специалистов по охране труда;
- не допускать формального подхода к изучению и разбору случаев гибели и травматизма с личным составом;
- мероприятия по профилактике несчастных случаев выполнять в полном объеме;

– обучение должностных лиц по охране труда и безопасным правилам ведения работ проводить своевременно.

Литература

1. Конституция Рос. Федерации (принята на всенародном голосовании 12 дек. 1993 г.) (с поправками). URL: <http://base.garant.ru/10103000/> (дата обращения: 17.08.2018).
2. Вопросы Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий: Указ Президента Рос. Федерации от 11 июля 2004 г. № 68. URL: <http://base.garant.ru/187212/#friends> (дата обращения: 17.08.2018).
3. Анализ состояния охраны труда в системе МЧС России за 2017 год: письмо МЧС России от 23 апр. 2018 г. № 91-1892-18. Документ опубликован не был.
4. Обзор о состоянии охраны труда, гибели и травматизма личного состава МЧС России при исполнении служебных обязанностей в 2010 году: письмо МЧС России от 29 марта 2011 г. № 43-1247-18. Документ опубликован не был.
5. Обзор о состоянии охраны труда, гибели и травматизма личного состава МЧС России при исполнении служебных обязанностей в 2012 году: письмо МЧС России от 2 апр. 2013 г. № 43-1403-18. Документ опубликован не был.
6. Обзор о состоянии охраны труда, гибели и травматизма личного состава МЧС России при исполнении служебных обязанностей в 2014 году: письмо Уральского регионального центра МЧС России от 14 мая 2015 г. № 6318-3-1-8. Документ опубликован не был.
7. Анализ охраны труда в системе МЧС России за 2016 год: письмо МЧС России от 10 марта 2017 г. № 43-1234-18. Документ опубликован не был.
8. Инструменты прогнозирования в Microsoft Excel. URL: <http://lumpics.ru/forecasting-in-excel/> (дата обращения: 17.08.2018).
9. Айвазян С.А., Мхитарян В.С., Зехин В.А. Многомерные статистические методы: учеб. пособие. М.: Евразийский открытый институт, Московский государственный университет экономики, статистики и информатики, 2003. 77 с.
10. Кендалл М., Стьюарт А. Многомерный статистический анализ и временные ряды. М.: Наука, 1976. 736 с.
11. Холлендер М., Вулф Д. Непараметрические методы статистики. М.: Финансы и статистика, 1985. 518 с.
12. Орлов А.И. Прикладная статистика. М.: Экзамен, 2006. 671 с.
13. Попов А.А. Excel: практическое руководство: учеб. пособие. М.: ДЕССКОМ, 2004. 302 с.
14. Минько А.А. Функции в Excel: справочник пользователя. М.: ЭКСМО, 2007. 512 с.



СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

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.;

Анашечкин Александр Дмитриевич – зам. нач. каф. систем. анализа и антикризис. упр. СПб ун-та ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), 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;

Бабич Максим Евгеньевич – зав. каф. гуманитар. и соц.-экон. дисц. Дальневост. пож.-спас. акад. – филиала СПб ун-та ГПС МЧС России (690922, Приморский край, о. Русский, г. Владивосток, п. Аякс, д. 27), канд. мед. наук;

Байгалмаа Энхтувшин – адъюнкт Акад. ГПС МЧС России (129366, Москва, ул. Бориса Галушкина, д. 4);

Безнедельный Сергей Владиславович – ст. препод. каф. спец. подгот. ин-та проф. подгот. СПб ун-та ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), e-mail: bezne-sergej@yandex.ru;

Бельшина Юлия Николаевна – нач. каф. криминал. и инж.-техн. эксперт. СПб ун-та ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), e-mail: kiite@igps.ru, канд. техн. наук, доц.;

Брушлинский Николай Николаевич – нач. НИЦ упр. безопасн. слож. систем. Акад. ГПС МЧС России (129366, Москва, ул. Бориса Галушкина, д. 4), д-р техн. наук, проф., засл. деят. науки РФ;

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.;

Воронин Сергей Владимирович – ст. инспектор группы контроля кач-ва СПб ун-та ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), канд. техн. наук, доц.;

Джафаров Элхан Адилевич – адъюнкт фак-та подгот. кадров высш. квалификации СПб ун-та ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149);

Ивахнюк Григорий Константинович – проф. каф. инж. защ. окр. среды СПб гос. технол. ин-та (техн. ун-та) (190013, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 26), e-mail: fireside@inbox.ru, д-р хим. наук, проф.;

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;

Квашнин Алексей Викторович – нач. каф. тактики и авар.-спас. работ Дальневост. пож.-спас. акад. – филиала СПб ун-та ГПС МЧС России (690922, Приморский край, о. Русский, г. Владивосток, п. Аякс, д. 27), e-mail: kvashnin1978@mail.ru;

Копосов Алексей Сергеевич – адъюнкт фак-та подгот. кадров высш. квалификации СПб ун-та ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), e-mail: a_koposov93@mail.ru;

Кошкарров Руслан Витальевич – нач. каф. спец. подгот. фак-та доп. образования Дальневост. пож.-спас. акад. – филиал СПб ун-та ГПС МЧС России (690922, Приморский край, о. Русский, г. Владивосток, п. Аякс, д. 27), e-mail: koshkarov79@mail.ru;

Марасанова Ксения Николаевна – ст. препод. каф. практ. подгот. сотр. пож.-спас. формирований СПб ун-та ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149);

Можаев Александр Григорьевич – зам. нач. каф. спец. подгот. Дальневост. пож.-спас. акад. – филиал СПб ун-та ГПС МЧС России (690922, Приморский край, о. Русский, г. Владивосток, п. Аякс, д. 27), e-mail: ogpn46@yandex.ru;

Николаев Денис Валерьевич – доц. каф. пож. безопасн. зданий и автоматиз. систем пожаротушения СПб ун-та ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), канд. пед. наук;

Печурин Александр Алексеевич – доц. каф. пож., авар.-спас. техн. и авт. хоз-ва СПб ун-та ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), e-mail: rechurinas@mail.ru, канд. техн. наук, доц.;

Присяжнюк Николай Леонидович – проф. каф. упр. и экон. ГПС Акад. ГПС МЧС России (129366, Москва, ул. Бориса Галушкина, д. 4), канд. техн. наук, доц., засл. работник высш. шк. РФ;

Рева Юрий Викторович – доц. каф. сервис безопасн. СПб ун-та ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), канд. воен. наук;

Рыбин Олег Александрович – проф. каф. систем. анализа и антикризис. упр. СПб ун-та ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), д-р техн. наук;

Седнев Анатолий Владимирович – студент Моск. гос. техн. ун-та им. Н.Э. Баумана (105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1);

Седнев Владимир Анатольевич – проф. каф. защ. нас. и тер. Акад. ГПС МЧС России (129366, Москва, ул. Бориса Галушкина, д. 4), д-р техн. наук, проф., засл. работник высш. шк. РФ, почетный работник науки и техн. РФ, лауреат премии Прав-ва РФ в обл. науки и техн., лауреат премии Прав-ва РФ в обл. образования РФ;

Скрипник Игорь Леонидович – проф. каф. пож. безопасн. технол. процессов и пр-в СПб ун-та ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), канд. техн. наук, доц.;

Столяров Святослав Олегович – адъюнкт фак-та подгот. кадров высш. квалификации СПб ун-та ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), e-mail: 79990252529@yandex.ru;

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. транспортных 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;

Тихонов Юрий Михайлович – проф. каф. пож. безопасн. зданий и автоматиз. систем пожаротушения СПб ун-та ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), д-р техн. наук, проф.;

Терёхин Сергей Николаевич – проф. каф. пож. безопасн. зданий и автоматиз. систем пожаротушения СПб ун-та ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), д-р техн. наук, доц.;

Троянов Олег Михайлович – доц. каф. сервис безопасн. СПб ун-та ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), тел. (812) 369-25-85, канд. воен. наук, доц.;

Тужиков Евгений Николаевич – нач. каф. спец. подгот. фак-та доп. проф. образования Уральского ин-та ГПС МЧС России (620062, г. Екатеринбург, ул. Мира, д. 22), e-mail: fireman87@bk.ru, канд. техн. наук;

Хрулев Вячеслав Витальевич – препод. каф. спец. подгот. фак-та проф. подгот. Уральского ин-та ГПС МЧС России (620062, г. Екатеринбург, ул. Мира, д. 22.), e-mail: khrulevslava@gmail.com;

Хрунов Дмитрий Евгеньевич – первый зам. нач. Гл. упр. МЧС России по Ханты-Мансийскому автономному округу – Югре (628011, г. Ханты-Мансийск, ул. Студенческая, д. 5а), e-mail: dkhrunov@gmail.com;

Цыганков Валерий Дмитриевич – студент фак-та экон. и права СПб ун-та ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), e-mail: 19valery96@mail.ru;

Шангин Виктор Николаевич – зам. нач. СПб ун-та ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149);

Шаравин Евгений Олегович – ст. препод. каф. горноспасат. дела и взрывобезопасн. СПб ун-та ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149);

Шидловский Александр Леонидович – нач. каф. подгот. сотр. пож.-спас. формиров. СПб ун-та ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), канд. техн. наук, доц.;

Шифф Виктор Куртович – ст. науч. сотр. Воен. ин-та (науч.-исслед.) Воен.-космич. акад. им. А.Ф. Можайского (197082, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, д. 13), e-mail: math@sutd.ru, канд. физ.-мат. наук, ст. науч. сотр.;

Юшеров Константин Сергеевич – нач. каб. каф. пож. безопасн. зданий и автоматиз. систем пожаротушения СПб ун-та ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149).



ИНФОРМАЦИОННАЯ СПРАВКА

Старейшее учебное заведение пожарно-технического профиля России образовано 18 октября 1906 года, 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 30 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 программам среднего, высшего профессионального образования, а также подготовку специалистов высшей квалификации: докторантов, адъюнктов, аспирантов, переподготовку и повышение квалификации специалистов более 30 категорий сотрудников МЧС России. В целом в университете реализуется 93 образовательные программы.

Начальник университета – генерал-лейтенант внутренней службы Чижигов Эдуард Николаевич.

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: 1 член-корреспондент РАН, 5 заслуженных деятелей науки Российской Федерации, 12 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 40 докторов наук, 212 кандидатов наук,

40 профессоров, 106 доцентов, 18 академиков отраслевых академий, 11 членов-корреспондентов отраслевых академий, 4 старших научных сотрудника, 8 почетных работников высшего профессионального образования Российской Федерации, 1 почетный работник науки и техники Российской Федерации, 1 почетный работник высшего профессионально-технического образования Российской Федерации, 2 почетных радиста Российской Федерации и 2 почетных работника общего образования Российской Федерации.

В составе университета:

- 35 кафедр;
- 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;
- три факультета: факультет инженерно-технический, факультет экономики и права, факультет подготовки кадров высшей квалификации.

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 обеспечения пожарной безопасности. Основные направления деятельности НИИ: 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»), по направлениям подготовки: «Системный анализ и управление», «Судебная экспертиза», «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 «Технологическая безопасность и горноспасательное дело», «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 6 837 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». Так же 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 11 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 (МОГО), 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, информационно 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. Фонд библиотеки университета составляет более 320 000 экземпляров литературы по всем отраслям знаний. Фонды библиотеки 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, НЦУКС 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 крупнейшим библиотекам нашей страны и мира (Президентская библиотека им. Б.Н. Ельцина, Российская национальная библиотека, Российская государственная библиотека, Библиотека академии наук, Библиотека Конгресса США). Заключены договоры с ЭБС IPRbooks и ЭБС «Лань» на пользование и просмотр учебной и научной литературы в электронном виде.

В фондах библиотеки насчитывается более 150 экземпляров редких и ценных изданий. Библиотека располагает богатым фондом периодических изданий, их число составляет 8 121 экземпляр. На 2018 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, включая иностранные журналы, 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 7 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 культуры. 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 текст 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. Грэждяну П.М., Авербух И.Ш. Вариант вероятностного метода оценки оползнеопасности территории // Современные методы прогноза оползневого 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 (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.

Вниманию 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
№ 4 (48) – 2018

Подписной индекс № 16401 в «Каталоге российской прессы (ООО МАП)»

Свидетельство о регистрации
ПИ № ФС77-36404 от 20 мая 2009 г.

Редактор П.А. Болотова

Подписано в печать 28.12.2018. Формат 60×84_{1/8}.
Усл.-печ. л. 15,75 Тираж 1000 экз. Зак. № 00

Отпечатано в Санкт-Петербургском университете ГПС МЧС России
196105, Санкт-Петербург, Московский проспект, д. 149