

ISSN 2658-6223

Управление в социальных
и экономических системах
(технические науки)

Строительные конструкции,
здания и сооружения
(технические науки)

Теплоснабжение, вентиляция,
кондиционирование воздуха,
газоснабжение и освещение
(технические науки)

Водоснабжение, канализация,
строительные системы
охраны водных ресурсов
(технические науки)

Строительные материалы
и изделия
(технические науки)

Экологическая безопасность
строительства
и городского хозяйства
(технические науки)

Пожарная и промышленная
безопасность
(технические науки)

Министерство Российской Федерации
по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям
и ликвидации последствий стихийных бедствий

СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ГРАЖДАНСКОЙ ЗАЩИТЫ

Журнал включен
в «Перечень рецензируемых научных изданий,
в которых должны быть опубликованы основные
научные результаты диссертаций на соискание
ученой степени кандидата наук,
на соискание ученой степени доктора наук ВАК
при Министерстве науки и высшего образования
Российской Федерации»

№ 2 (39), 2021



Учредитель и издатель: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ивановская пожарно-спасательная академия Государственной противопожарной службы Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий».

Территория распространения — Российская Федерация.

Журнал индексируется в Научной электронной библиотеке eLIBRARY.RU / РИНЦ (Россия).

Журнал включен в Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук.

Перепечатка без разрешения редакции запрещена, ссылки на журнал при цитировании обязательны.

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Главный редактор: *Малый Игорь Александрович*, кандидат технических наук, доцент
Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России (Россия, г. Иваново)

**Заместители
главного редактора:** *Шарабанова Ирина Юрьевна*, кандидат медицинских наук, доцент
Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России (Россия, г. Иваново)
Федосов Сергей Викторович, доктор технических наук, профессор, академик РААСН
Ивановский государственный политехнический университет (Россия, г. Иваново)
Шкифоров Александр Леонидович, доктор технических наук, старший научный сотрудник
Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России (Россия, г. Иваново)

Члены редколлегии:

Акулова Марина Владимировна – д-р техн. наук, профессор, Советник РААСН, заведующий кафедрой строительного материаловедения, специальных технологий и технологических комплексов ФГБОУ ВО «Ивановский государственный политехнический университет» (Россия, г. Иваново)

Алексеев Михаил Иванович – д-р техн. наук, профессор, академик РААСН, профессор кафедры водопользования и экологии ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет» (Россия, г. Санкт-Петербург)

Барбин Николай Михайлович – д-р техн. наук, проф., старший научный сотрудник научно-исследовательского отдела ФГБОУ ВО «Уральский институт ГПС МЧС России» (Россия, г. Екатеринбург)

Бубнов Андрей Германович – д-р хим. наук, доцент, профессор кафедры эксплуатации пожарной техники, средств связи и малой механизации (в составе УНК «Пожаротушение») Ивановской пожарно-спасательной академии ГПС МЧС России (Россия, г. Иваново)

Бутман Михаил Федорович – д-р физ.-мат. наук, проф., Ивановский государственный химико-технологический университет (Россия, г. Иваново)

Бутузов Станислав Юрьевич – д-р техн. наук, профессор, профессор кафедры информационных технологий (в составе учебно-научного комплекса автоматизированных систем и информационных технологий) ФГБОУ ВО «Академия ГПС МЧС России» (Россия, г. Москва)

Ерофеев Владимир Трофимович – д-р техн. наук, профессор, академик РААСН, заведующий кафедрой «Строительные материалы и технологии» ФГБОУ ВО «Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева» (Россия, Республика Мордовия, г. Саранск)

Ефремов Александр Михайлович – д-р хим. наук, профессор, профессор кафедры «Технология приборов и материалов электронной техники» ФГБОУ ВО «Ивановский государственный химико-технологический университет» (Россия, г. Иваново)

Камлюк Андрей Николаевич – канд. физ.-мат. наук, доц., Университет гражданской защиты Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь (Республика Беларусь, г. Минск)

Ковтун Вадим Анатольевич – д-р техн. наук, проф., Гомельский инженерный институт МЧС Республики Беларусь (Республика Беларусь, г. Гомель)

Колобов Михаил Юрьевич – д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой механики и компьютерной графики ФГБОУ ВО «Ивановский государственный химико-технологический университет» (Россия, г. Иваново)

Королева Светлана Валерьевна – д-р мед. наук, доцент, профессор кафедры травматологии и ортопедии ФГБОУ ВО Ивановской государственной медицинской академии Минздрава России (Россия, г. Иваново)

Лопанов Александр Николаевич – д-р техн. наук, проф., Белгородский государственный технологический университет (Россия, г. Белгород)

Назарычев Александр Николаевич – д-р техн. наук, профессор, ректор ФГАО ДПО «Петербургский энергетический институт повышения квалификации» Министерства энергетики РФ (Россия, г. Санкт-Петербург)

Присадков Владимир Иванович – д-р техн. наук, профессор, главный научный сотрудник ФГБУ ВНИИПО МЧС России (Россия, г. Балашиха)

Румянцева Варвара Евгеньевна – д-р техн. наук, профессор, Советник РААСН, директор института информационных технологий, естественных и гуманитарных наук ФГБОУ ВО «Ивановский государственный политехнический университет» (Россия, г. Иваново)

Сырбу Светлана Александровна – д-р хим. наук, профессор, заместитель начальника Ивановской пожарно-спасательной академии ГПС МЧС России (по развитию внебюджетной деятельности) (Россия, г. Иваново)

Телличенко Валерий Иванович – д-р техн. наук, профессор, заслуженный деятель науки Российской Федерации, академик РААСН, президент Национального исследовательского университета «Московский государственный строительный университет» (Россия, г. Москва)

Федосеев Вадим Николаевич – д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой организации производства и городского хозяйства ФГБОУ ВО «Ивановский государственный политехнический университет» (Россия, г. Иваново)

Хафизов Ильдар Фанильевич – д-р техн. наук, доцент, профессор кафедры пожарной и промышленной безопасности ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет» (Россия, г. Уфа)

Циркина Ольга Германовна – д-р техн. наук, доцент, профессор кафедры пожарной безопасности объектов защиты (в составе УНК «Государственный надзор») Ивановской пожарно-спасательной академии ГПС МЧС России (Россия, г. Иваново)

Шарнина Любовь Викторовна – д-р техн. наук, профессор кафедры химических технологий волокнистых и красящих веществ ФГБОУ ВО «Ивановский государственный химико-технологический университет» (Россия, г. Иваново)

Шевцов Сергей Александрович – д-р техн. наук, профессор кафедры специальной подготовки ФГБОУ ДПО Воронежского института повышения квалификации сотрудников ГПС МЧС России (Россия, г. Воронеж)

Технический редактор: Чуприна Ольга Сергеевна

Подписной индекс в объединенном каталоге «Пресса России» – 94015.

Подписано в печать 22.06.2021 г. Формат 60x90 1/8. Усл. печ. л. 16,5. Тираж 100 экз. Заказ №79.

Свидетельство о регистрации СМИ ПИ № ФС77-73129 от 22.06.2018

(Журнал зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций)

Адрес редакции (издателя): 153040, г. Иваново, проспект Строителей, д. 33.

Тел.: (4932) 93-08-00, доб. 571; e-mail: journal@edufire37.ru

СОДЕРЖАНИЕ / CONTENTS

**УПРАВЛЕНИЕ В СОЦИАЛЬНЫХ И ЭКОНОМИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ
(ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ)
MANAGEMENT IN SOCIAL AND ECONOMIC SYSTEMS (TECHNICAL)**

- Королева С. В.** Разработка универсальной психофизиологической модели прогнозирования надежности деятельности сотрудников МЧС России (с учетом гендерных различий)..... 5
Koroleva S. V. Development of a universal psychophysiological model for forecasting the reliability of employees of the EMERCOM of Russia (taking into account gender differences)..... 5
- Шихалев Д. В.** Управленческий аспект в функционировании системы обеспечения пожарной безопасности объекта 12
Shikhalev D. V. The management aspect of the facility's fire safety system 12

**СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ, ЗДАНИЯ И СООРУЖЕНИЯ
(ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ)
BUILDING STRUCTURES, BUILDINGS AND FACILITIES**

- Яковенко Т. А., Андреев В. И., Стахеев М. В., Юдичев А. А.** Анализ способа крепления страховочной сетки на учебно-тренировочную башню 28
Yakovenko T. A., Andreev V. I., Staheev M. V., Udichev A. A. Analysis of the method of attaching the safety net to the training tower 28

**СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ (ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ)
BUILDING MATERIALS AND PRODUCTS (TECHNICAL)**

- Акулова М. В., Мочалов А. М., Пуганов М. В.** Снижение пожарной опасности пенополистирола в условиях высоких температур 36
Akulova M. V., Mochalov A. M., Puganov M. V. Reducing the fire hazard of styrofoam at high temperatures 36
- Флегонтов Д. В., Акулова М. В., Пуганов М. В.** Оценка степени повреждения бетонных конструкций в результате теплового воздействия 44
Flegontov D. V., Akulova M. V., Puganov M. V. Assessment of damage to concrete structures as a result of heat exposure 44

**ПОЖАРНАЯ И ПРОМЫШЛЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ (ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ)
FIRE AND INDUSTRIAL SAFETY (TECHNICAL)**

- Кувшинов Г. В., Суровегин А. В., Баканов М. О., Микушкин О. В.** Перспективы использования макрогетероциклических соединений в качестве термомодификаторов композитных полимерных материалов 54
Kuvshinov G. V., Surovegin A. V., Bakanov M. O., Mikushkin O. V. Perspectives for using macroheterocyclic compounds as thermomodifiers of composite polymer materials 54
- Куликов И. М., Бубнов В. Б., Ширяев Е. В.** Исследование динамики истечения из отверстий при авариях на газопроводах 61
Kulikov I. M., Bubnov V. B., Shiryaev E. V. Study of the dynamics of outlets from holes in accidents on gas pipelines 61
- Лапшин С. С., Ганина А. В., Мочалов А. М., Коноваленко Е. П.** Исследование методов и практики осуществления государственного пожарного надзора в период военного времени 68
Lapshin S. S., Ganina A. V., Mochalov A. M., Konovalenko E. P. Research of methods and practices of implementing state fire supervision during war time 68
- Мочалов А. М., Шварев Е. А., Коноваленко Е. П.** Разработка системы информационного обеспечения надзорной деятельности МЧС России «Мобильный помощник инспектора ГПН» 74
Mochalov A. M., Shvarev E. A., Konovalenko E. P. Development of the information support system for the supervisory activities of the EMERCOM of Russia «Mobile assistant to the inspector of the state emergency service» 74

Наконечный С. Н., Панев Н. М., Никифоров А. Л., Ульява С. Н. Определение показателей воспламенения древесины сосны, обработанной огнебиозащитным составом	80
Nakonechnyy S. N., Panev N. M., Nikiforov A. L., Ulieva S. N. The determination of indicators of flammation of pine wood treated with fire protective composition	80
Семенов А. Д., Бубнов А. Г., Моисеев Ю. Н. Особенности сушки пожарных напорных рукавов диаметром более 150 мм.....	88
Semenov A. D., Bubnov A. G., Moiseev Yu. N. Features of drying fire pressure hoses with a diameter of more than 150 mm.....	88
Сторонкина О. Е., Мочалова Т. А. Оценка пожароопасных показателей интерьерных тканей.....	96
Storonkina O. E., Mochalova T. A. Assessment of fire hazardous indicators of interior fabrics	96
Фролова Т. В., Иваненко О. С., Комаров Р. В., Чеснокова Л. Н. Идентификация компонентов огнетушащих порошков методом ИК-спектроскопии.....	102
Frolova T. V., Ivanenko O. S., Komarov R. V., Chesnokova L. N. Identification of extinguishing powder components by IR spectroscopy	102
Хасанов И. Р., Нагановский Ю. К., Булгаков В. В., Стернина О. В. Экспериментальные исследования состава продуктов горения твердых коммунальных отходов.....	108
Khasanov I. R., Naganovskii Yu. K., Bulgakov V. V., Sternina O. V. Experimental studies of the composition combustion products of solid municipal waste	108

**ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ СТРОИТЕЛЬСТВА
И ГОРОДСКОГО ХОЗЯЙСТВА
ECOLOGICAL SAFETY OF CONSTRUCTION AND URBAN MANAGEMENT**

Иванова М. В., Журавлева И. Б., Троценко Е. М., Валиев А. Р. Способ повышения безопасности процедур анализа объектов экологического контроля.....	115
Ivanova M. V., Zhuravleva I. B., Trocenko E. M., Valiev A. R. A way to improve the safety of procedures for analyzing objects of environmental control	115
Топоров А. В., Палин Д. Ю. Исследование рабочих характеристик магнитожидкостного уплотнения.....	123
Toporov A. V., Palin D. U. Investigation of the performance characteristics of a magnetofluidic seal.....	123

**УПРАВЛЕНИЕ В СОЦИАЛЬНЫХ И ЭКОНОМИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ
(ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ)
MANAGEMENT IN SOCIAL AND ECONOMIC SYSTEMS (TECHNICAL)**

УДК 614.8.015

**РАЗРАБОТКА УНИВЕРСАЛЬНОЙ ПСИХОФИЗИОЛОГИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ
ПРОГНОЗИРОВАНИЯ НАДЕЖНОСТИ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ СОТРУДНИКОВ
МЧС РОССИИ (С УЧЕТОМ ГЕНДЕРНЫХ РАЗЛИЧИЙ)**

С. В. КОРОЛЕВА

ФГБОУ ВО Ивановская государственная медицинская академия Минздрава России,
Российская Федерация, г. Иваново
E-mail: drqueen@mail.ru

Методики исследования и проектирования успешности функционирования силовых структур, основывающиеся на научных принципах управления, обязаны учитывать личные качества и психофизиологический «портрет» руководителей. Имеющиеся программы психофизиологического сопровождения и используемые технологии оценки параметров адаптации ориентированы, главным образом, на мужчин. Увеличение числа женщин на постах управления в подразделениях МЧС России – вызов системе психофизиологического сопровождения и оценки параметров реагирования, требующих гендерной специализации, определяющей эффективность организационных систем. В статье представлены результаты анализа параметров адаптации специалистов МЧС России по психофизиологическим маркерам с учетом гендерного аспекта. Подгруппы наблюдения были разделены по продолжительности профмаршрута с учетом критических периодов возникновения дезадаптации. Полученные результаты позволили прогнозировать надежность и эффективность деятельности личного состава с учетом гендерного аспекта. Предложенный алгоритм позволяет усовершенствовать систему профотбора и сопровождения сотрудников МЧС России в современных условиях.

Ключевые слова: сотрудники; гендерные различия; психофизиологический портрет; копинги; адаптация; МЧС России; прогностическая модель.

**DEVELOPMENT OF A UNIVERSAL PSYCHOPHYSIOLOGICAL MODEL
FOR FORECASTING THE RELIABILITY OF EMPLOYEES OF THE EMERCOM OF RUSSIA
(TAKING INTO ACCOUNT GENDER DIFFERENCES)**

S. V. KOROLEVA

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Ivanovo State Medical Academy» of
the Ministry of Healthcare of the Russian Federation,
Russian Federation, Ivanovo
E-mail: drqueen@mail.ru

Methods of research and design of the success of the functioning of power structures, based on scientific principles of management, must take into account the personal qualities and psychophysiological "portrait" of leaders. The existing programs of psychophysiological support and the technologies used for assessing adaptation parameters are focused mainly on men. The increase in the number of women in command posts in the units of the EMERCOM of Russia is a challenge to the system of psychophysiological support and assessment of response parameters that require gender specialization, which determines the effectiveness of organizational systems. The article presents the results of the analysis of the parameters of adaptation of specialists of the Ministry of Emergency Situations of Russia on psychophysiological markers, taking into account the gender aspect. The observation groups were divided according to the duration of the occupational route, taking into account the critical periods of maladjustment. The results obtained made it possible to predict the reliability and efficiency of personnel activities taking into account the gender aspect.

The proposed algorithm makes it possible to improve the system of professional selection and support of EMERCOM of Russia employees in modern conditions.

Key words: staff; gender differences; psychophysiological portrait; copings; adaptation; Russian Emergency Situations Ministry; predictive model.

Особенностью функционирования силовых структур и ведомств является условие надежности деятельности специалистов экстремального профиля. Особенно велика «цена» ошибки принятия неверного управленческого решения для персонала объектов, определяющих координацию и интеграцию деятельности всей организации. Очевидно, что стрессогенное влияние нервно-психического напряжения в таких условиях возрастает пропорционально продолжительности профмаршрута (с его увеличением не только вырабатываются механизмы адаптации, но и происходит повышение по службе, определяющее новый уровень ответственности и хронического психического напряжения). Ранее проведенными исследованиями [1] была показана назревшая необходимость включения параметров «женской» адаптации в показатели медико-психологического сопровождения службы сотрудников МЧС России. Во многом, полученные результаты согласовывались с данными о механизмах физиологии стресса и неспецифических реакциях организма человека на него. У женщин критическим периодом риска дезадаптации также являются первые 10 лет службы, а при стаже более 20 лет признаков дезадаптации не было установлено [1].

Поэтому актуальна для решения вопросов медико-психологического сопровождения модель по прогнозированию надежности деятельности сотрудников МЧС России требует включения гендерных параметров. Все документы по формированию подразделений МЧС России, психологического сопровождения деятельности не дифференцированы по половому признаку.

Учитывая вышеизложенное, в поиске новых форм алгоритмизации и проектирования структур управления с участием женщин, для совершенствования профессионально-ориентированного отбора была поставлена цель исследования – провести анализ и составить психофизиологический портрет сотрудников МЧС России с различным стажем профессиональной деятельности, определить критический, с точки зрения возникновения дезадаптивных состояний и заболеваний, период, и на основе полученных результатов разработать универсальную модель прогнозирования эффективности и надежности персонала в про-

цессе реализации профессиональных задач с учетом гендерного аспекта реагирования.

Обследование проведено на добровольной основе среди сотрудников ЦУКС ГУ МЧС России по Московской области (диспетчеры, инженеры, аналитики).

В опросе и обследовании приняли участие 100 человек – 35 женщин, средний возраст $35,49 \pm 0,97$ лет и 65 мужчин, средний возраст $39,14 \pm 0,68$ лет, достоверно не различаясь по возрасту ($p \geq 0,05$). Все они были разделены на 4 подгруппы по признаку стажа службы:

1. До 10 лет, средний стаж $6,67 \pm 0,42$ лет, 11 женщин и 30 мужчин, средний возраст $29,47 \pm 0,93$ лет;

2. 11-15 лет, средний стаж $12,88 \pm 0,30$ лет, 10 женщин и 25 мужчин, средний возраст $33,68 \pm 0,68$ лет;

3. 16-20 лет, средний стаж $18,04 \pm 0,74$ лет, 7 женщин и 28 мужчин, средний возраст $37,43 \pm 0,40$ лет;

4. Свыше 20 лет, средний стаж $22,12 \pm 0,33$, 7 женщин и 17 мужчин, средний возраст $42,00 \pm 0,45$ лет.

Все сотрудники по результатам медицинского обследования признаны годными для прохождения службы на должностях МЧС России. По группам предназначения в соответствии с Приказом МЧС России №356 от 30.08.2018 г. все женщины отнесены к 3 и 4 группам (степень ограничения 3), мужчины имели все 4 группы по предназначению.

Обследования носили анонимный характер. Результаты представлены в виде среднего арифметического значения \pm ошибка среднего. Для проведения описательного, дисперсионного и корреляционного анализов применялись методы параметрической и непараметрической статистики (при невыполнении критерия Колмогорова-Смирнова). Уровень значимости принят 0,95 ($p=0,05$ и меньше). Для снижения размерности и построения модели использован дисперсионный анализ на платформе SPSS 23.

Диагностика совладающего поведения была проведена с использованием копинг-теста Р. Лазаруса, адаптированным Т. Л. Крюковой, Е. В. Куфтяк, М. С. Замышляевой в 2004 г. Данная методика ранее хорошо зарекомендовала себя в авторском исследовании [1, 3] копинг-стратегий у девушек-курсантов вуза МЧС России в динамике обучения.

Также использован пульс-тест (показатель адаптации сердечно-сосудистой системы) в стандартной методике, при разработке модели были использованы индекс Руфье и индекс Диксона [4]. Средний возраст в 4-ой подгруппе женщин был ниже среднестатистического возраста наступления менопаузы, поэтому гормональными влияниями в различиях можно пренебречь. Тренд увеличения возраста в анализируемых подгруппах был учтен как поправка при анализе достоверности.

Разделенные по признаку стажа профессии, женщины в подгруппах не отличались достоверно от мужчин по возрасту (выявлена лишь устойчивая тенденция к различию во 2 подгруппе – $35,10 \pm 1,09$ лет у женщин и $32,73 \pm 0,80$ у мужчин, $p \leq 0,1$). Вероятно, именно с этим связано достоверное различие в показателях индекса Руфье – у женщин со стажем службы 11-15 лет он оказался $8,28 \pm 0,58$ ед, а у мужчин $6,61 \pm 0,38$ ед, $p \leq 0,05$. Оба показателя отражают удовлетворительный уровень адаптации к физическим нагрузкам. Следует подчеркнуть, что ни в одной из выделенных подгрупп (как у женщин, так и у мужчин) не установлено «хороших» и «очень хороших» показателей адаптации к физическим нагрузкам, что свидетельствует как о недостаточном уровне адаптации сердечно-сосудистой системы к физическим нагрузкам, так и о сохраняющемся напряжении механизмов адаптации, и о признаках дезадаптации.

Следует подчеркнуть, что женщины не привлекаются в реагирующие подразделения (степень ограничения 3), но требования к состоянию здоровья являются «общими» для мужчин и женщин¹.

¹ Приказ МЧС России №356 от 30 августа 2018 г. «О требованиях к состоянию здоровья граждан, поступающих на службу в федеральную противопожарную службу Государственной противопожарной службы, и сотрудников федеральной противопожарной службы Государственной противопожарной службы, перечнях дополнительных обязательных диагностических исследований, проводимых до начала медицинского освидетельствования граждан, поступающих на службу в федеральную противопожарную службу Государственной противопожарной службы, и сотрудников федеральной противопожарной службы Государственной противопожарной службы, порядке проведения контрольного обследования и повторного освидетельствования по результатам независимой военно-врачебной экспертизы и формах документации, необходимых для деятельности военно-врачебных комиссий в системе МЧС России»

Ранее проведенными исследованиями у курсантов обоих полов, обучающихся в вузе МЧС России, установлены наиболее значимые для профессиональной адаптации копинги – «Самоконтроль» (С) (усилия по регулированию своих чувств и действий); «Планирование решения проблемы» (ПРП) (произвольные проблемно-фокусированные усилия по изменению ситуации, включающие аналитический подход к проблеме); «Положительная переоценка» (ПП) (усилия по созданию положительного значения с фокусированием на росте собственной личности). Были составлены копинг-портреты сотрудников в выделенных подгруппах различного профессионального стажа, что позволило выделить наиболее уязвимые с точки зрения формирования дезадаптивных состояний периоды службы (рис. 1).

Резюмируя динамические тенденции в формировании копинг-портретов в обобщенных подгруппах наблюдения, можно говорить о наиболее «критичном» для возникновения дезадаптации профиле в 1 подгруппе, о формировании устойчивых механизмов адаптации – к стажу в профессии от 16 лет. Наибольшее число достоверных различий в группах установлено по копингу «Поиск социальной поддержки» (ПСП, достоверные различия 1 подгруппы – с подгруппами 2,3,4), «Принятие ответственности» (ПО, 1 – 3,4), «Бегство-избегание» (БИ, 1 – 2,3,4), «Планирование решения проблемы» (ПРП, 1 – 2,3,4, 2 – 3), «Положительная переоценка» (ПП, 2 – 3,4). По копингам «Конфронтация» и «Самоконтроль» показатели 1 подгруппы достоверно отличались, соответственно, только с 3 и 4 подгруппой. Из трех выделенных в качестве профессионально значимых копингов, достоверные различия уменьшения напряженности от 1 ко 2 подгруппе определены только по копингу «Планирование решения проблемы», что отражает «наработку» определенных алгоритмов, навыков, технологий, позволяющих адаптироваться к решению задач реагирования в ЧС (иногда достаточно шаблонных). Самоконтроль и умение удерживать свои эмоции сохраняет свой «стрессогенный потенциал дезадаптации» до 4 подгруппы.

В абсолютных значениях дезадаптивным является показатель от 12 и более ед. Во всех подгруппах наблюдения по профессионально значимым копингам («Самоконтроль» (С), «Положительная переоценка» (ПП) и «Планирование решения проблемы» (ПРП) выявлены либо пограничные (10-11 ед.), либо дезадаптивные показатели по выделенным подгруппам наблюдения, соответственно, 1-2-3-4: по копингу «Самоконтроль» – 13-12-11-11; по «Планирование решения проблемы» – 12-

11-10-11, по «Положительная переоценка» – 11-11-10-9. По всем остальным копингам предельных уровней напряжения либо не определено, либо уровень напряжения снижается до адаптивных значений уже к периоду службы 16 – 20 лет.

Интегральную объективную характеристику риска возникновения стресс-индуцированных состояний и заболеваний позволяет получить тест-реакция сердечно-сосудистой системы на нагрузку (индекс Руфье), корреляционный анализ с которым приведен на рис. 2.

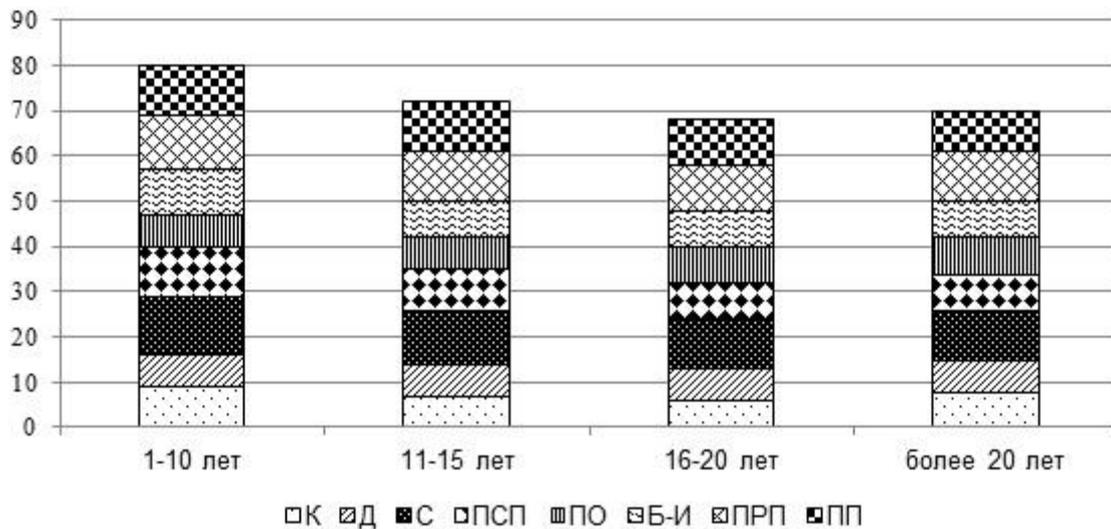


Рис. 1. Копинг-портреты (в ед.) в выделенных подгруппах наблюдения

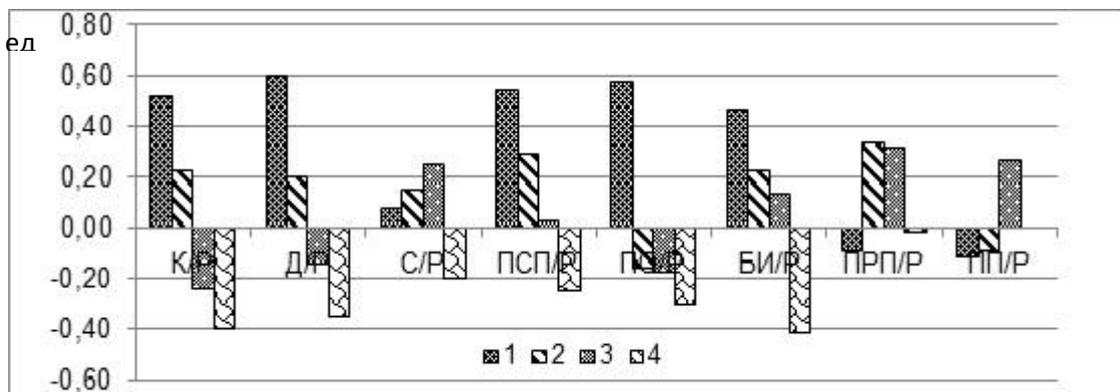


Рис. 2. Корреляционный анализ копинг-стратегий в выделенных по профессиональному стажу подгруппах с показателем адаптации сердечно-сосудистой системы (индекс Руфье, R)

Подтверждена значимость дезадаптивного портрета для развития сердечно-сосудистых расстройств и заболеваний в подгруппе наблюдения до 10 лет профессионального стажа: только для копингов ПРП и ПП определены незначимые по величине, но благоприятные тенденции. Для всех остальных копингов установлены однонаправленные корреляционные взаимосвязи с индексом Руфье, демонстрирующие вклад психофизиологических факторов в риск возникновения сердечно-сосудистых дезадаптивных расстройств. При

этом психофизиологические сопоставления только в подгруппе свыше 20 лет профессионального стажа носят стресс-лимитирующий характер, а снижение риска развития сердечно-сосудистых заболеваний происходит за счет адаптивного уровня напряженности профессионально значимых копингов.

Для более детального понимания психофизиологических механизмов, вовлеченных в формирование психосоматических нарушений, был проведен многомерный факторный анализ данных, полученных с помощью представлен-

ных психодиагностических методик. В основе факторного анализа находятся преобразования с матрицей интеркорреляций исходных (первичных) переменных. Результатом «вращения» этой матрицы является обрращение «весом» своих корреляционных связей каждой измеренной переменной, позволяющих проводить ранжирование всех переменных по их «весу» в структуре всех переменных. Суммарная дисперсия или, так называемый, «общий вес» всех переменных при представлении каждого «фактора» измеряется в виде общей дисперсии в относительных величинах – процентах. Интерпретация фактора определяется на основе авторского подхода и доминирующих «весов» переменных. Анализ проводился с использованием метода главных компонент и максимального правдоподобия с ограничением итераций 25.

Факторный анализ был проведен для подгруппы до 10 лет профессионального стажа, как наиболее определяющей успешность профессионального прогноза и профессионального долголетия. Факторный анализ психофизиологических показателей в экспериментальной группе позволил выделить 4 фактора (Ф1, Ф2, Ф3, Ф4) с суммарной дисперсией 74,598 % от всей выборки, при этом наибольший вес (более 50% совокупности) составили первые 3 фактора с суммарной дисперсией 62,572 %. Разберем каждый фактор в отдельности.

Степень интегрированности структуры установлена достаточно высокой, что подчеркивает зрелость психофизиологических структур адаптации у действующих сотрудников МЧС России даже в периоде ранней адапта-

ции. Самым значимым фактором в оказался Фактор 1, условно обозначенный как «Личный интерес». Значимую нагрузку (больше 0,7) в него внесли индекс Диксона (определяющий скорость восстановления сердечно-сосудистой системы после нагрузки, 0,764), копинги «Конфронтация» (0,736), «Дистанцирование» (0,739) и «Бегство-избегание» (0,774). Таким образом, психофизиологическим дезадаптивным фактором в раннем периоде адаптации является наличие ярко выраженной направленности на личные интересы («эгоцентризм» установок).

Вторым по нагрузке из всех полученных факторов определяется Фактор 2, который условно можно назвать «Гендерный». Значимую нагрузку (больше 0,7) данный фактор имел по показателю «половой принадлежности» (0,960).

Фактор 3 определен как «Обучение», представлен «Положительной переоценкой» (0,995).

Фактор 4 показал равновесные вклады всех анализируемых составляющих без выделения значимых, что позволило не принимать его во внимание.

Для получения прогностической модели прогнозирования надежности деятельности сотрудников МЧС России был проведен дискриминантный анализ по стандартной расчетной процедуре на платформе SPSS 23. При 90 % правильности классификации исходных сгруппированных наблюдений, разработана модель по внешнему критерию показателя сердечной деятельности.

$$F1 = -8,385 + 0,086K + 0,311Д + 0,191С + 0,432ПСП + 0,173ПО - 0,204БИ - 0,169ПРП + 0,80ПП + 0,157МЖ0,50ГПП$$

где К, Д, С, ПСП, ПО, БИ, ПРП, ПП – наименования копингов (сокращения указаны по тексту), МЖ – половая принадлежность респондента: мужчина=1, женщина=2; ГПП – группа профессионального предназначения. Внешним критерием эффективности данной модели выбран объективный индекс Руфье – показатель адаптированности сердечно-сосудистой системы к нагрузке. Определены референтные значения для индекса Руфье <7 ед. = -0,526; для ≥7,1 = 1,729. Значение индекса Руфье ниже 7 ед. – свидетельствует о реакции сердечно-сосудистой системы на нагрузку «выше среднего», что прогностически считается более желательным показателем с точки зрения профессиональной адаптации и профессионального долголетия. Линейная модель была апробирована на ослепленном списке и показала свою пригодность. Для ее практического применения в указанную формулу вносятся значения копин-

гов по тесту Лазаруса, и чем ближе полученное значение к 1,729, тем выше риск возникновения стресс-индуцированных психофизиологических состояний и заболеваний, связанных с сердечно-сосудистой системой. Соответственно, чем ближе полученное значение к -0,526, тем этот риск ниже (минимизирующая модель). Полученные значения носят рекомендательный характер, но могут рассматриваться в качестве дополнительного метода профессионального отбора и целенаправленной постэкспедиционной реабилитации.

Резюмируя итоги проведенного исследования, можно говорить об основных стресс-модулирующих механизмах в периоде ранней адаптации (профессиональный стаж до 10 лет) у сотрудников МЧС России. Настроенность на личные интересы, попытка самоутвердиться в новых условиях, отсутствие знакомого коллектива и «готовых решений», присущих молодым

специалистам МЧС России в периоде ранней адаптации, являются наиболее значимыми факторами возникновения стрессогенных состояний и заболеваний. В дальнейшем уровень напряженности копингов снижается, а способы снижения стрессогенной нагрузки в подгруппе со стажем профессиональной деятельности более 20 лет приобретают профессионально-выгодный характер. Адаптация стороны сердечно-сосудистой системы (по индексу Руфье для оценки реакции на нагрузку и индексу Диксона для оценки реакции восстановления) находится в коридоре «средних» значений, что для подгрупп со стажем профессиональной деятельности от 16 лет и больше носит адаптивный характер, но для лиц со стажем в профессии до 15 лет – явно недостаточно, что актуализирует введение дополнительных занятий по физической подготовке для молодых сотрудников. Иерархия стратегий от личного к гендерному и только затем – к обучению на бытовом уровне логична. Но для специалистов экстремального профиля пси-

хофизиологическая адаптация должна рассматриваться в разрезе выполнения задач по предназначению, изначально стрессогенных. Стресс, как неустранимый элемент профессиональной среды, требует новых подходов к объективной оценке его влияния на организм человека, в том числе, особенности для женщин. Эффективность деятельности организационных структур при этом станет более взвешенной и совершенной.

В результате проведенного исследования разработана и предложена универсальная психофизиологическая модель прогнозирования надежности деятельности сотрудников МЧС России с 90%-ным прогнозированием эффективности деятельности с точки зрения сохранения адаптации сердечно-сосудистой системы (профилактика возникновения стрессогенных состояний и заболеваний). Данная модель может рассматриваться в качестве дополнительного метода оценки эффективности психофизиологического сопровождения, реабилитации, профотбора специалистов МЧС России.

Список литературы

1. Королева С. В., Курпеева Ю. А. Разработка модели прогнозирования надежности деятельности сотрудников-женщин в системе МЧС России // *Современные проблемы гражданской защиты*. 2021. №1(38). С. 5–11.

2. Зеленина Н. В. Особенности военно-профессиональной адаптации военнослужащих женского пола в процессе образования в военно-медицинском вузе // *Актуальные проблемы 96 физической и специальной подготовки силовых структур*. 2015. Т. 2. № 3(30). С. 57–67.

3. Королева С. В., Мигунова Ю. С., Данилов П. В. Психофизиологическая модель профессиональной успешности и ее гендерные особенности для курсантов образовательной организации МЧС России // *Современные проблемы гражданской защиты*. 2019. № 2. С. 56–66.

4. Тест-реакция сердечно-сосудистой системы на приседания/ электронный ресурс. Режим доступа: <https://blog.decathlon.ru/interesnye-fakty/test-kak-opredelit-naskolko-zdorovo-vashe-serdce.html>

References

1. Koroleva S. V., Kurpeyeva Yu. A. *Razrabotka modeli prognozirovaniya nadezhnosti*

deyatel'nosti sotrudnikov-zhenshchin v sisteme MCHS Rossii [Development of a model for predicting the reliability of the activities of female employees in the EMERCOM of Russia]. *Sovremennyye problemy grazhdanskoy zashchity*, 2021, vol. 1(38), pp. 5–11.

2. Zelenina N. V. *Osobennosti voenno-professional'noj adaptacii voennosluzhashchih zhenskogo pola v processe obrazovaniya v voenno-medicinskom vuze [Features of military-professional adaptation of female military personnel in the process of education at a military medical university]*. *Aktual'nye problemy 96 fizicheskoy i special'noj podgotovki silovyh struktur*, 2015, vol. 2, issue 3(30), pp. 57–67.

3. Koroleva S. V., Migunova Yu. S., Danilov P. V. *Psihofiziolozhicheskaya model' professional'noj uspehnosti i ee gendernye osobennosti dlya kursantov obrazovatel'noj organizacii MCHS Rossii [Psychophysiological model of professional success and its gender characteristics for cadets of the educational organization of the Ministry of Emergencies of Russia]*. *Sovremennyye problemy grazhdanskoy zashchity*, 2019, № 2, pp. 56–66.

4. *Test-reakciya serdechno-sosudistoy sistemy na prisedaniya [Test reaction of the cardiovascular system to squats]*. <https://blog.decathlon.ru/interesnye-fakty/test-kak-opredelit-naskolko-zdorovo-vashe-serdce.html>

Королева Светлана Валерьевна,
ФГБОУ ВО Ивановская государственная медицинская академия Минздрава России,
Российская Федерация, г. Иваново
Доктор медицинских наук, доцент, профессор кафедры травматологии и ортопедии
E-mail: drqueen@mail.ru,

Koroleva Svetlana Valerevna

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Ivanovo State Medical Academy» of
the Ministry of Helthcare of the Russian Federation,
Russian Federation, Ivanovo,
Doctor of medical Sciences, associate Professor, the Professor of unit
E-mail: drqueen@mail.ru.

УДК 614.849

УПРАВЛЕНЧЕСКИЙ АСПЕКТ В ФУНКЦИОНИРОВАНИИ СИСТЕМЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ОБЪЕКТА

Д. В. ШИХАЛЕВ

Академия ГПС МЧС России,
Российская Федерация, г. Москва
E-mail: evacsystem@gmail.com

Исследование посвящено анализу развития системы обеспечения пожарной безопасности на уровне объекта, выявлению организационно-управленческих проблем в её функционировании. В качестве критериев оценки функционирования системы обеспечения пожарной безопасности выбраны данные о пожарах (пожары, погибшие, материальный ущерб). Анализ этих данных выполнен за период с 1996 по 2019 года. В результате анализа установлено, что несмотря на общую тенденцию сокращения количества пожаров, гибель людей на них составляет большое количество, а размер ущерба значительно высок и продолжает расти. Кроме того, не менее 90 % людей погибают при пожарах, возникших в результате нарушения правил пожарной безопасности и неосторожного обращения с огнем, что в целом определяет управленческий аспект проблемы. В тоже время, если брать обстановку с пожарами за показатель функционирования системы обеспечения пожарной безопасности, то можно считать её удовлетворительной (пожары и гибель людей снижается с 2000 г.), однако размер материального ущерба высок. В целом, система обеспечения пожарной безопасности требуют развития, особенно в области её управления. Проведен анализ становления рассматриваемой системы. Формализованы основные этапы её развития. Показано, что несмотря на относительно долгое развитие системы, организационно-управленческие аспекты функционирования системы не получили должного развития. Формализована структура системы управления пожарной безопасностью на уровне объекта. Выявлено, что в настоящее время руководитель объекта не в состоянии осуществлять управления рассматриваемой системой из-за отсутствия характеризующих её факторов.

Ключевые слова: система обеспечения пожарной безопасности, управление, статистика, пожар, состояние.

THE MANAGEMENT ASPECT OF THE FACILITY'S FIRE SAFETY SYSTEM

D. V. SHIKHALEV

Federal State Budget Educational Establishment of Higher Education
«State Fire Academy of State Firefighting Service of Ministry of Russian Federation
for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters»,
Russian Federation, Moscow
E-mail: evacsystem@gmail.com

The study is devoted to the analysis of the development of the fire safety system at the facility level. An additional aim is to identify organizational and managerial problems in its functioning. Data on fires (fires, deaths, material damage) were selected as criteria for assessing the functioning of the fire safety system. The analysis of this data was carried out for the period from 1996 to 2019. It was found that the number of people killed by fires is large despite the general tendency to reduce the number of fires. Moreover, the amount of damage is significantly high and continues to grow. In addition, at least 90 % of people die in fires resulting from violation of fire safety rules and careless handling of fire, which generally determines the managerial aspect of the problem. At the same time, if we take the situation with fires as an indicator of the functioning of the fire safety system, then we can consider it satisfactory (fires and deaths have been decreasing since 2000), but the amount of material damage is high. In general, the fire safety system requires development, especially in the field of its management. The analysis of the formation of the system under consideration is carried out. The main stages of its development have been formalized. It is shown that the organizational and managerial aspects of the system's functioning have not received proper development despite the relatively long development of the system. It has been established that at present the manager of the facility is not able to control the system under consideration due to the absence of factors that characterize it.

Key words: fire safety system, management, statistics, fire, condition.

Основная функция любого государства — обеспечение безопасности людей, в том числе пожарной. Главный государственный закон в области пожарной безопасности² устанавливает систему обеспечения пожарной безопасности, определяя её как «совокупность сил и средств, а также мер правового, организационного, экономического, социального и научно-технического характера, направленных на профилактику пожаров, их тушение и проведение аварийно-спасательных работ». Исходя из этого определения в первом приближении в качестве результата работы такой системы целесообразно принять данные о пожарах в Российской Федерации, так как все ресурсы системы направлены на их профилактику, а если это оказалось безуспешным, то на тушение и проведения аварийно-спасательных работ. Исследованием системы обеспечения пожарной безопасности занимался широкий круг ученых [1–7]. В тоже время, за рубежом как таковой структурированной и нормативно установленной системы обеспечения пожарной безопасности нет, так как в основе зарубежного подхода лежит принцип проектирования на основе характеристик (*performance-based design*) [8–11]. Таким образом, целью настоящей работы является оценка функционирования системы обеспечения пожарной безопасности на уровне объекта с позиции управления, а также выявление соответствующих управленческих проблем.

Рассмотрим обстановку с пожарами в Российской Федерации. В качестве источника сведений примем данные, ежегодно публикуемые всероссийским научно-исследовательским институтом противопожарной обороны МЧС России статистические сборники^{3,4,5,6}. В каче-

стве рассматриваемого периода примем данные с момента ввода понятия система обеспечения пожарной безопасности (1995 г.) по настоящее время (2019 г.).

На рис. 1–3 показаны гистограммы распределения количества пожаров, количества погибших и размера материального ущерба от пожаров за рассматриваемый период. Перед проведением анализа необходимо сделать важное уточнение, которое должно быть принято во внимание при его проведении. В Российской Федерации за рассматриваемый период (1995–2019 гг.) неоднократно менялся порядок учета пожаров и их последствий (2008, 2010, 2012, 2018, 2020), что прямо влияет на количественные данные статистики пожаров.

Результаты анализа графика (рис. 1) показали, что за рассматриваемый период времени сформированы тенденция к ежегодному снижению количества пожаров. Кратное превышение количества пожаров в 2019 году связано с изменением правил учета пожаров, так как теперь в их общем количестве учитываются случаи загорания (неконтролируемое горение без вреда для жизни и здоровью, а также без материального ущерба), которые ранее не учитывались.

На рис. 2 показано распределение количества погибших людей на пожарах за рассматриваемый период. Как и с количеством пожаров, имеется тенденция к снижению количества погибших. Примечательный факт — количество погибших начало ежегодно снижаться с момента перевода Государственной противопожарной службы из Министерства внутренних дел в МЧС России. Если исходить из данных за последние годы (2016–2019) количество погибших стабилизировалось на определенном уровне — в среднем 8 258 человек.

Если сопоставить эти данные с другими причинами смертей, то количество погибших при пожаре сопоставимо со смертями от туберкулеза (7 536 чел.) или с зарегистрированным количеством убийств в Российской Федерации (7 212 чел.). Безусловно, количество погибших хотя и снижается, но все еще высоко.

При этом общество негласно считает такую обстановку с пожарами «приемлемой» и не рассматривает данные показатели как значительные, так как информация о пожарах не транслируется в средствах массовой информации и в целом не передается огласке. При этом, в случае массовой гибели людей следует широкий общественный резонанс.

² О пожарной безопасности [Электронный ресурс]: федер. закон от 21 декабря 1994 года № 69-ФЗ // Гарант: ин-форм.-правовое обеспечение. Электрон. Дан. М., 2020. Доступ из локальной сети б-ки Академии ГПС МЧС России.

³ Пожары и пожарная безопасность в 2006 году: статистический сборник / под общ. ред. Н. П. Копылова. М., 2007. 137 с.

⁴ Пожары и пожарная безопасность в 2010 году: статистический сборник / под общ. ред. В. И. Климкина. М., 2011. 140 с.

⁵ Пожары и пожарная безопасность в 2015 году: статистический сборник / под общ. ред. А. В. Матюшина. М., 2016. 124 с.

⁶ Пожары и пожарная безопасность в 2019 году: статистический сборник / под общ. ред. Д. М. Гордиенко. М., 2020. 80 с.

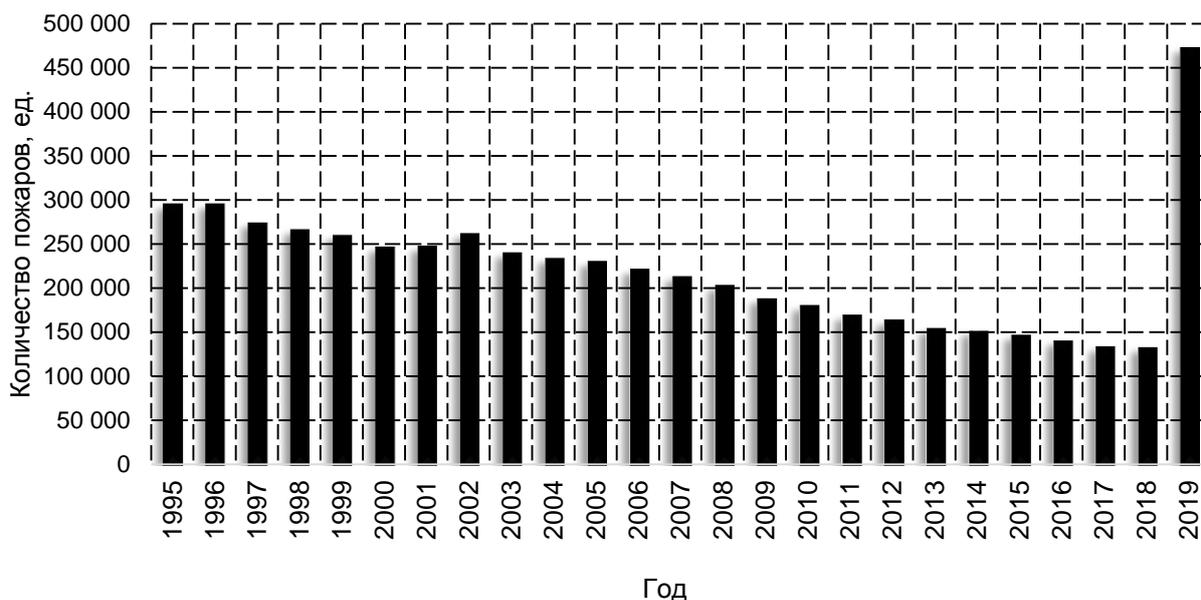


Рис. 1. Гистограмма распределения количества пожаров в Российской Федерации с 1995 по 2019 года

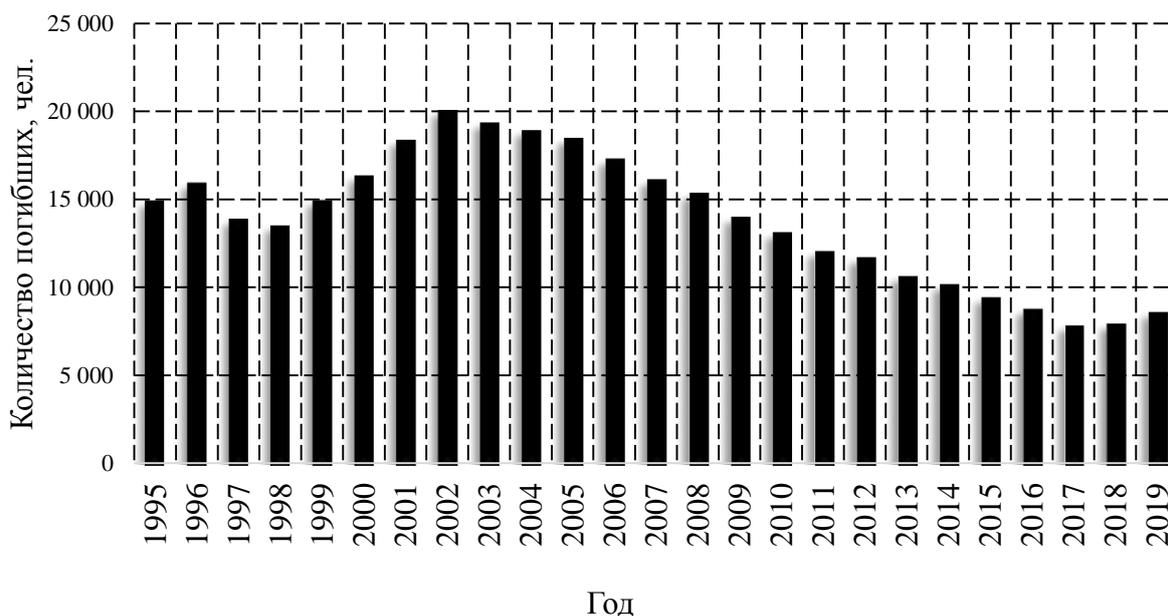


Рис. 2. Гистограмма распределения количества погибших в Российской Федерации с 1995 по 2019 года

Анализ данных (рис. 3) показал, что прямой материальный ущерб от пожаров имеет отчетливую динамику роста и по всей видимости стабилизировался в последние годы. Причину такого роста можно объяснить ростом стоимости материалов и оборудования, применяемых в зданиях. Для сравнения сумма

материального ущерба (18 млрд. руб. последний отчетный год) покрывает расходную часть бюджета республики Калмыкия или может быть реализована при покупке 1 000 автоцистерн (шасси – КАМАЗ, насос - Rosenbauer).

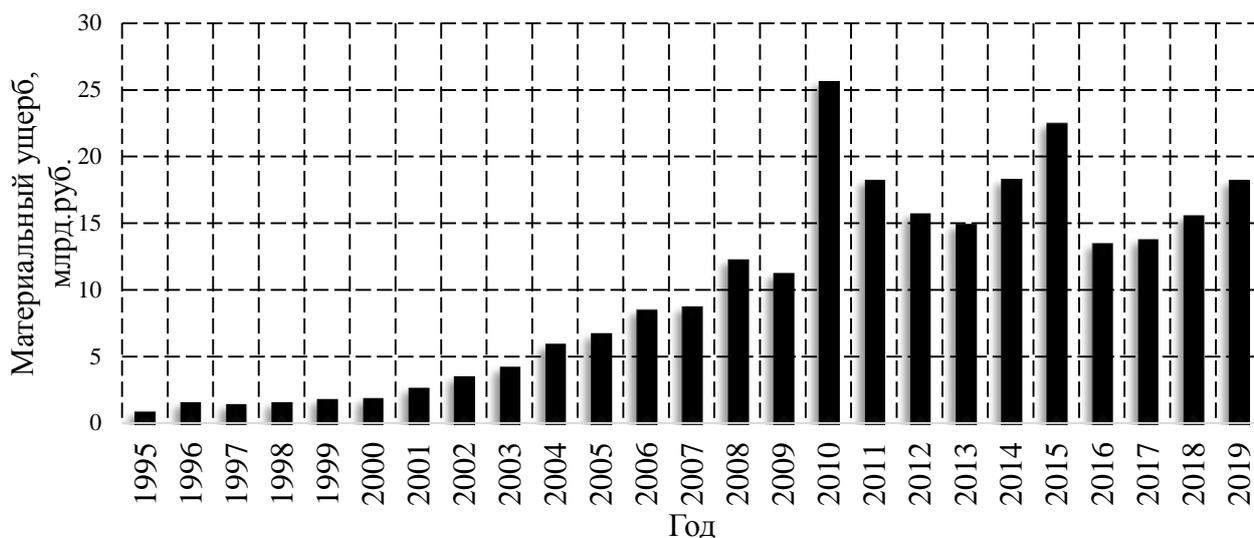


Рис. 3. Гистограмма распределения прямого материального ущерба от пожаров в Российской Федерации с 1995 по 2019 года

Рассмотрим более детально причины возникновения пожаров. В последней редакции статистического сборника⁷ приведены причины возникновения пожаров по годам. Исходя из целей настоящего исследования, объединим причины, связанные с нарушением правил пожарной безопасности в одну группу, и рассмотрим получившиеся результаты в процентном соотношении. Приведена (рис. 4) гистограмма распределения процентного соотношения количества пожаров по причине нарушения правил пожарной безопасности к общему количеству пожаров в Российской Федерации с 1995 по 2019 года.

Данные за рассматриваемый период показывают выраженную тенденцию на увеличение количества пожаров по причинам нарушения правил безопасности. В настоящей работе нарушение правил будем относить к управленческому аспекту. В среднем порядка 40 % пожаров происходит по причинам нарушения правил.

Анализ данных (рис. 5), показал, что количество погибших по причине нарушения правил варьируется в пределах 25–30 % и увеличивается в последнее десятилетие, что в целом согласуется с процентным соотношением количества пожаров.

На рис. 6, приведены сведения об процентном соотношении ущерба. В среднем, порядка 40–50 % от размера ущерба приходится на пожары, причиной которых служило нарушение

правил. Полученные значения превосходят процентное соотношение по погибшим и пожарам.

В рассматриваемом сборнике также в качестве причин пожара имеется неосторожное обращение с огнем. В соответствии с уголовным кодексом⁸, неосторожность это одна из форм вины, характеризующаяся легкомысленным расчётом на предотвращение вредных последствий деяния лица, либо отсутствием предвидения наступления таких последствий. Другими словами, неосторожное обращение с огнем — игнорирование правил пожарной безопасности, в результате которых возникает пожар. То есть, зная правила и меры безопасности, человек не будет относиться легкомысленно к источнику пожара или предвидит последствия такого действия с огнем.

Дополним графики на рис. 4–6 данными по рассматриваемым показателям с учетом неосторожного обращения с огнем.

Анализ данных на рис. 7 показал, что доля рассматриваемых пожаров в общем количестве достигала более 90 % от всего числа пожаров. Тенденция была нисходящей до последнего отчетного года, когда изменились правила учета пожаров.

⁷ Пожары и пожарная безопасность в 2019 году: статистический сборник / под общ. ред. Д. М. Гордиенко. М., 2020. 80 с.

⁸ Уголовный кодекс Российской Федерации: федер. закон от 13 июня 1996 года № 63-ФЗ // Гарант: информ.-правовое обеспечение. — Электрон. Дан. М., 2020. Доступ из локальной сети б-ки Академии ГПС МЧС России.

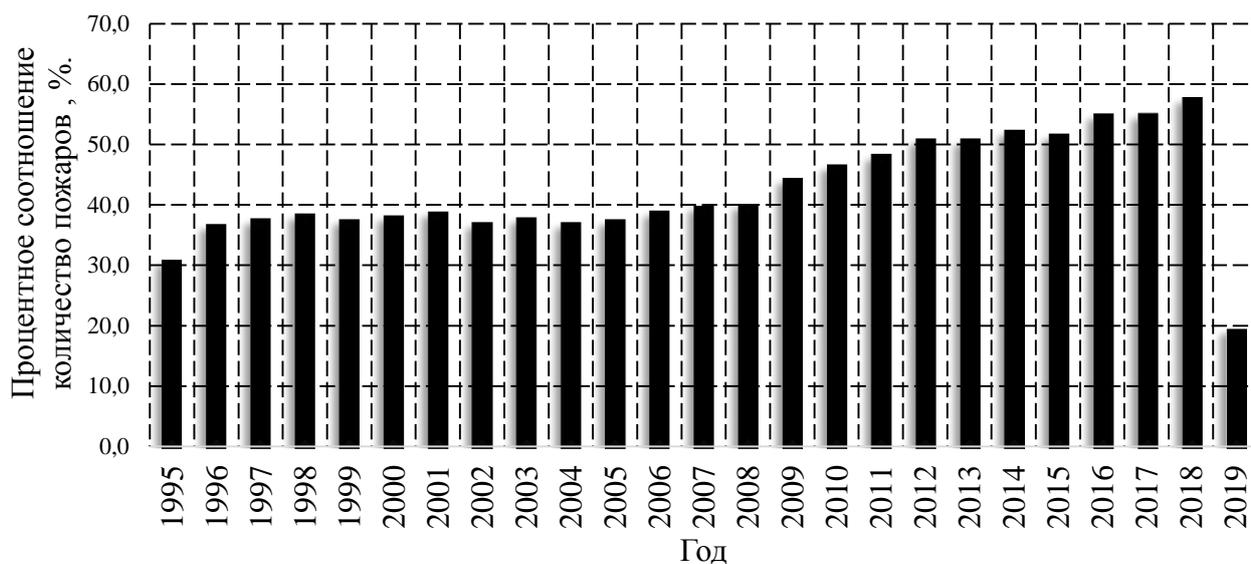


Рис. 4. Гистограмма распределения процентного соотношения количества пожаров по причине нарушения правил пожарной безопасности к общему количеству пожаров в Российской Федерации с 1995 по 2019 года

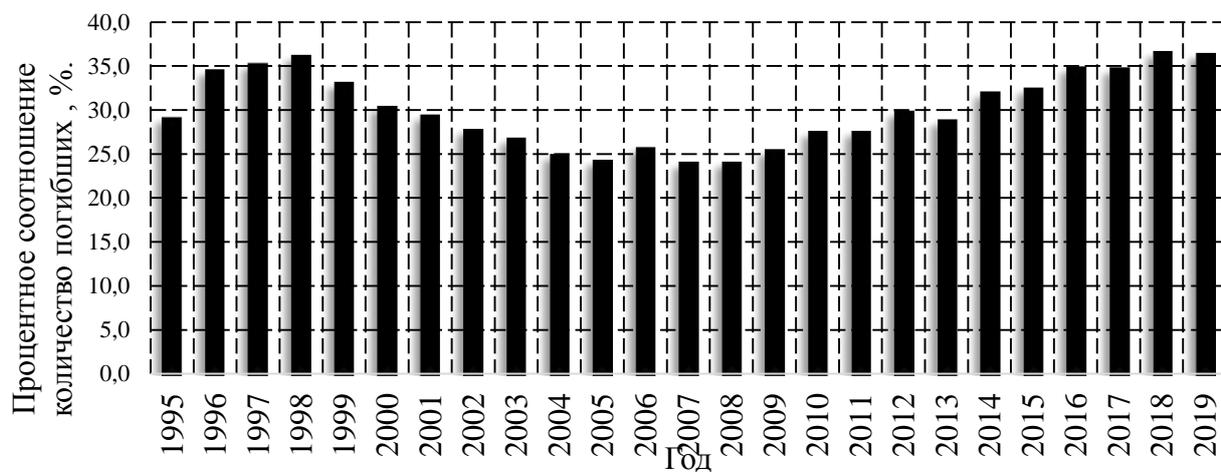


Рис. 5. Гистограмма распределения процентного соотношения количества погибших по причине нарушения правил пожарной безопасности к общему количеству погибших при пожарах в Российской Федерации с 1995 по 2019 года

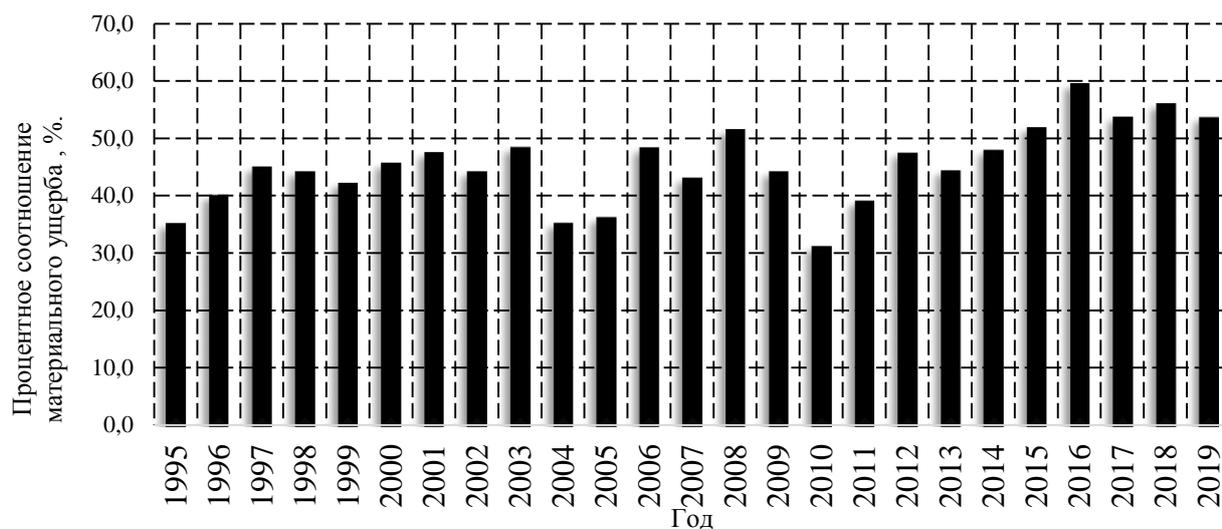


Рис. 6. Гистограмма распределения процентного соотношения прямого материального ущерба по причине нарушения правил пожарной безопасности от общего прямого материального ущерба от пожаров в Российской Федерации с 1995 по 2019 года

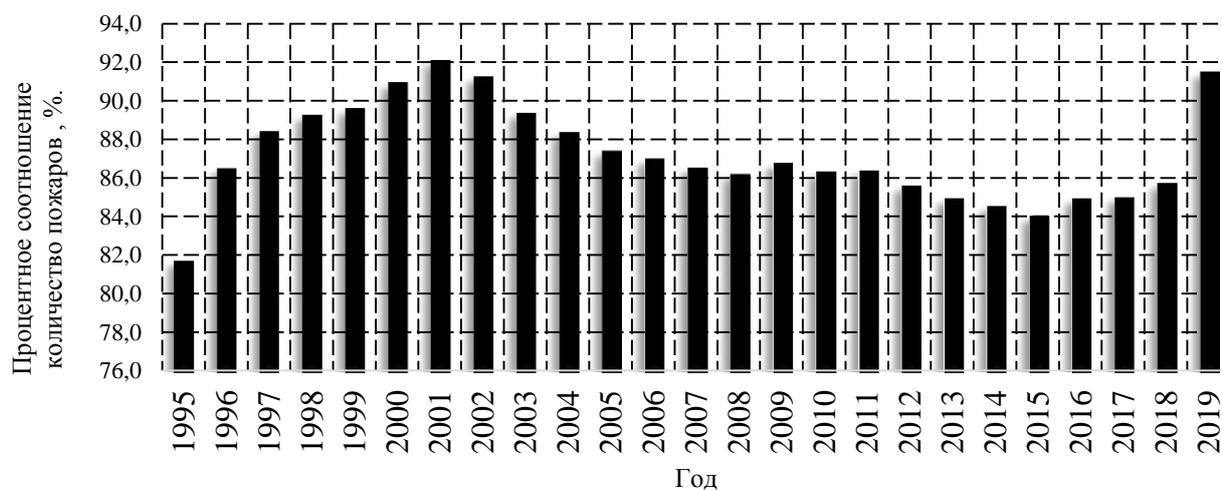


Рис. 7. Гистограмма распределения процентного соотношения количества пожаров по причине нарушения правил пожарной безопасности и неосторожного обращения с огнем к общему количеству пожаров в Российской Федерации с 1995 по 2019 года

Данные на рис. 8 показывают, что не менее 90 % людей ежегодно погибали из-за нарушения правил пожарной безопасности и неосторожного обращения с огнем. Динамика в рассматриваемом случае имеет установившуюся тенденцию.

Процентное соотношение, показанное на рис. 9, в целом стабильное, и за последние годы (5 лет) находится на уровне не ниже 60 %.

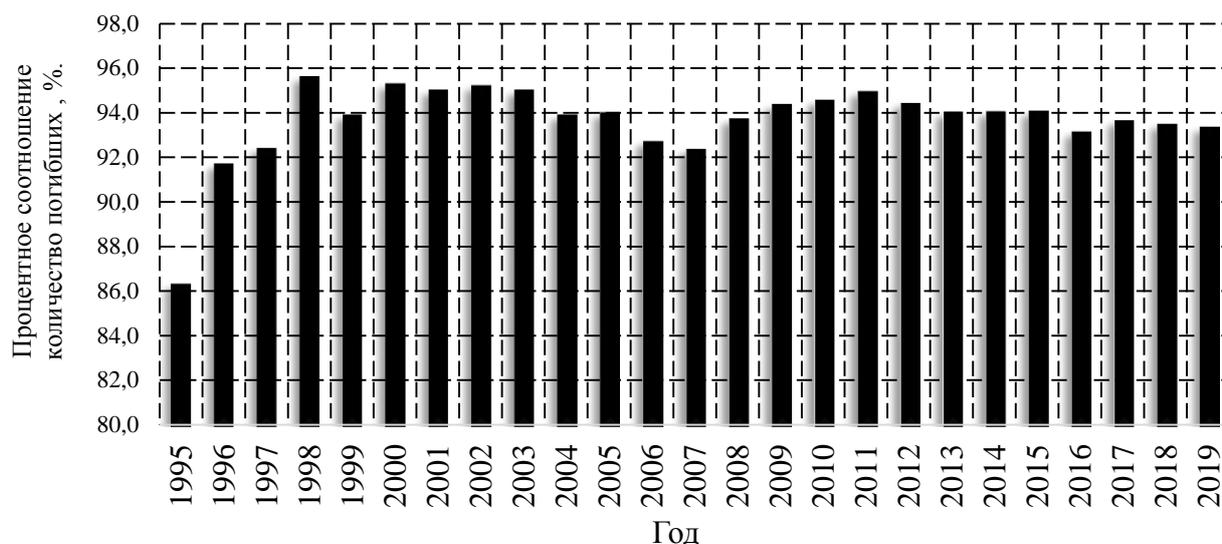


Рис. 8. Гистограмма распределения процентного соотношения количества погибших по причине нарушения правил пожарной безопасности и неосторожного обращения с огнем к общему количеству погибших при пожарах в Российской Федерации с 1995 по 2019 года

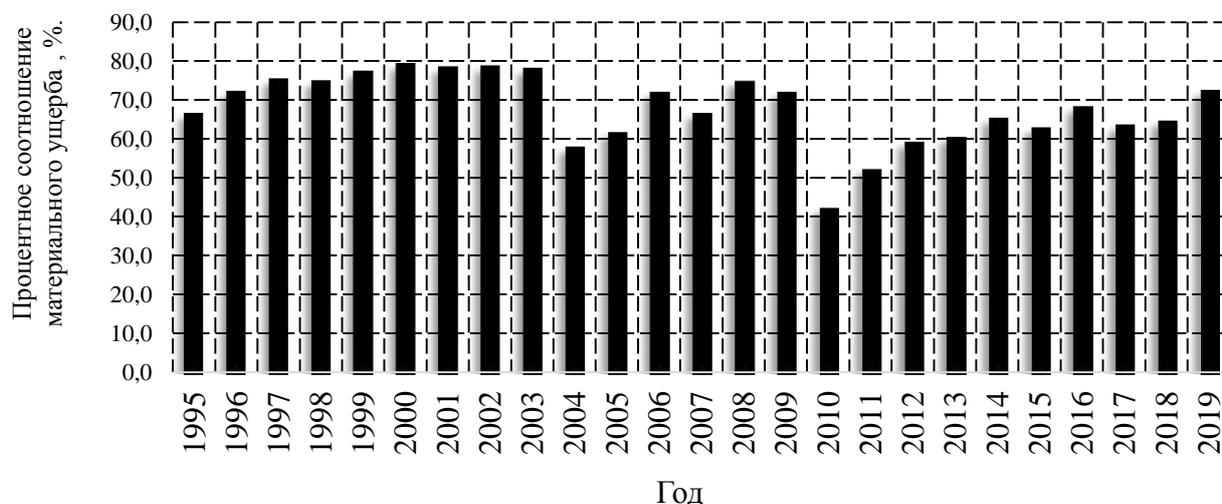


Рис. 9. Гистограмма распределения процентного соотношения прямого материального ущерба по причине нарушения правил пожарной безопасности и неосторожного обращения с огнем от общего прямого материального ущерба от пожаров в Российской Федерации с 1995 по 2019 года

Результаты анализа статистических данных о пожарах в Российской Федерации с 1995 по 2019 г. позволяют сделать следующие выводы. Во-первых, несмотря на общую тенденцию сокращения количества пожаров, гибель людей на них составляет большое количество, а размер ущерба значительно высок и продолжает расти. Во-вторых, не менее 90 % людей погибают при пожарах, возникших в результате нарушения правил пожарной безопасности

и неосторожного обращения с огнем, что в целом определяет управленческий аспект проблемы. В-третьих, если брать обстановку с пожарами за показатель функционирования системы обеспечения пожарной безопасности, то будем считать её удовлетворительной (пожары и гибель людей устойчиво снижаются с 2002 г.), однако размер материального ущерба высок. В целом, результаты

работы системы требуют развития, особенно в области её управления.

Для более детального понимания причин складывающейся ситуации, рассмотрим крупные пожары с массовой гибелью людей в Российской Федерации за рассматриваемый период. В таблице приведены некоторые данные о крупных пожарах. Результаты анализа крупных пожаров с массовой гибелью людей позволил выявить следующие общие характеристики.

Пожары с массовой гибелью людей происходят как правило на общественных объектах: торговые центры, развлекательные заведения, места постоянного пребывания (размещения людей). Ежегодно в России происходят пожары с гибелью более 5 человек на одном пожаре. При этом это происходит вне зависимости от функционального назначения здания.

Таблица. Данные о крупных пожарах в Российской Федерации с 1995 по 2020 гг.

№ п/п	Дата	Место	Наименование	Краткое описание	Причина пожара	Количество погибших (травмированных), чел.	Причины, способствующие гибели, травмированию
1	10.02.1999	г. Самара, Самарская область	Пожар в здании ГУВД	Пожар начался в вечернее время (около 17:30), когда в здании находилось много людей. Пожар был обнаружен, но оповещение не было активировано	Неосторожность при курении (брошенный окурок в пластиковой таре)	57 (200)	Отсутствие оповещения о пожаре
2	07.04.2003	с. Сыдыбыл, Якутия	Пожар в средней школе	После короткого замыкания в электрощитовой (около 9:15) возник пожар, который быстро распространился. Учителя не организовали эвакуацию детей	Короткое замыкание в электрощитовой	22 (39)	Отсутствие организованной эвакуации
3	10.04.2003	г. Махачкала, Дагестан	Пожар в интернате для глухих	Пожар произошел около 02:19. Пожарные быстро прибыли на место пожара. В ходе работы специальной комиссии, установлено что пожар свободно развивался порядка 45 минут	Включенный в сеть и оставленный без присмотра электрочайник	30 (119)	Отсутствие извещения о пожаре
4	24.03.2003	г. Москва	Пожар в общежитии РУДН	Пожар возник в ночное время в комнате для проживания студентов. Студенты пытались самостоятельно потушить пожар на протяжении 40 минут, после чего вызвали пожарную охрану	Неисправность электрической проводки	44 (180)	Отсутствие организованной эвакуации
5	10.11.2004	г. Кызыл, Тува	Пожар в общежитии	Пожар возник в ночное время. На окна общежития были установлены решетки	Перегрузка электрической проводки	26 (189)	Недостаточное количество эвакуационных выходов

№ п/п	Дата	Место	Наименование	Краткое описание	Причина пожара	Количество погибших (травмированных), чел.	Причины, способствующие гибели, травмированию
6	16.01.2006	г. Владивосток	Пожар в административном здании	Пожар возник в рабочее время около 12:16 на седьмом этаже здания. На запасной лестнице была установлена металлическая решетка	Неисправность электрической проводки	9 (17)	Отсутствие извещения о пожаре, механическая блокировка эвакуационных выходов
7	20.03.2007	ст. Камышевская, Краснодарский край	Пожар в доме престарелых	Пожар произошел около часа ночи. В здании отсутствовала АПС и СОУЭ	Неосторожность при курении	63 (29)	Отсутствие извещения и оповещения о пожаре, отсутствие организованной эвакуации
8	25.03.2007	г. Москва	Пожар в ночном клубе	Пожар возник в районе барной стойки в результате неосторожного обращения с огнем	Неосторожное обращение с огнем	10	Недостаточное количество эвакуационных выходов
9	04.11.2007	п. Велье-Никольское, Тульская область	Пожар в доме престарелых	Пожар возник около 13:30. В качестве источника пожара указывается люстра, которая после возгорания упала на вещи постояльцев, что способствовало развитию пожара. Первоначально персонал пытался потушить пожар собственными силами	Неисправное электрооборудование	32	Отсутствие извещения о пожаре, отсутствие достаточного количества персонала для осуществления эвакуации
10	31.01.2009	с. Подъельск, Республика Коми	Пожар в доме престарелых	Пожар возник в вечернее время около 18:10. В здании отсутствовала АПС. Пожарные подразделения прибыли спустя 30-40 минут в связи с большим удалением от ближайшей пожарной части	Неосторожное обращение с огнем	23	Отсутствие извещения о пожаре, отсутствие организованной эвакуации
11	05.12.2009	г. Пермь, Пермский край	Пожар в ночном клубе «Хромая лошадь»	Пожар возник около 01:08 в результате комбинации двух факторов: применения фейерверка внутри помещения, искры от которого попали на горючую отделку потолка и неисправной электропроводки. Посетители не знали мест расположения эвакуационных выходов	Нарушение правил пожарной безопасности, неисправность электропроводки	156 (78)	Отсутствие аварийного освещения, отсутствие организованной эвакуации

№ п/п	Дата	Место	Наименование	Краткое описание	Причина пожара	Количество погибших (травмированных), чел.	Причины, способствующие гибели, травмированию
12	26.04.2013	п. Раменский, Московская область	Пожар в психиатрической больнице	Пожар возник в районе 01:35 в одном из корпусов. Дежурная медсестра в момент возникновения пожара не находилась на посту, а пожар был обнаружен после появления открытого горения	Неосторожное обращение с огнем	38	Отсутствие извещения о пожаре, отсутствие достаточного количества персонала для осуществления эвакуации
13	13.09.2013	д. Лука, Новгородская область	Пожар в психоневрологическом интернате	Пожар возник в районе 02:50 в мужском отделении интерната. Из числа персонала на месте находилась только одна санитарка, которая эвакуировала 22 человек	Неосторожное обращение с огнем	37	Отсутствие извещения о пожаре, отсутствие достаточного количества персонала для осуществления эвакуации
14	11.03.2015	г. Казань, Республика Татарстан	Пожар в торговом центре	Пожар возник около 12:55 на крыше пристройки торгового центра. В здание систематически нарушались требования пожарной безопасности, устранение которых игнорировалось	Нарушение правил пожарной безопасности при проведении огневых работ	19 (61)	Отсутствие организованной эвакуации
15	25.03.2018	г. Кемерово, Кемеровская область	Пожар в торговом центре	Пожар возник около 16:04. Система оповещения не сработала. Часть эвакуационных выходов была заблокирована	Неисправность электропроводки (короткое замыкание)	60 (79)	Отсутствие оповещения о пожаре, механическая блокировка эвакуационных выходов

Основными причинами возникновения пожара с массовой гибелью людей является либо нарушение мер пожарной безопасности (неосторожное обращение с огнем, курение в неположенных местах, проведение огневых работ и т.д.) либо неисправность электропроводки. Так или иначе, эти проблемы лежат в области организации пожарной безопасности на объекте.

Основными причинами, способствующими гибели и травмированию людей являются либо отсутствие (отключение) пожарной сигнализации и оповещения, либо отсутствие

необходимых мер в области эвакуации (механическая блокировка эвакуационных выходов, отсутствие или плохая организация эвакуации). Как и в отношении причин возникновения пожара, причины способствующие гибели и травмированию лежат в области организации и управления пожарной безопасностью объекта. Другими словами, на рассмотренных объектах руководитель не осуществлял должного контроля соблюдения мер и требований пожарной безопасности. Хотя в соответствии с

федеральным законом⁹, на руководителе объекта лежит ответственность по созданию системы обеспечения пожарной безопасности объекта. В тоже время, необходимо отметить, что в ряде случаев должным образом не осуществлялся и надзор (контроль) за соблюдением требований пожарной безопасности, о чем свидетельствуют решения органов правосудия.

Результаты анализа статистических данных о пожарах в Российской Федерации показали, что гибель людей на них имеет высокие значения, а ущерб превышает 15 миллиардов ежегодно. 90 % людей погибают при пожарах, возникших в результате нарушения правил пожарной безопасности и неосторожного обращения с огнем, что позволяет утверждать о том, что имеются определенные проблемы в области организации и управления пожарной безопасностью. Качественный анализ пожаров с массовой гибелью людей подтверждает такой вывод, так как основные причины возникновения пожара, массовой гибели и травмирования людей является нарушение в области организации и управления пожарной безопасностью объекта.

Для понимания причин и условий явление таких результатов необходимо рассмотреть существующую систему обеспечения пожарной безопасности объекта, особенности её функционирования и организационно-управленческие аспекты.

Впервые понятие система обеспечения пожарной безопасности было сформулировано как таковое в федеральном законе⁷ и определяет её как «совокупность сил и средств, а также мер правового, организационного, экономического, социального и научно-технического характера, направленных на профилактику пожаров, их тушение и проведение аварийно-спасательных работ».

Хотя история её формирования и становления как таковой можно проследить с 1976 года, когда был введен ГОСТ¹⁰. Именно в это время было определено что пожарная безопасность объекта должна обеспечиваться системой предотвращения пожара и системой пожарной защиты. Исходя из этого, разработчики документа подразумевали систему пожарной безопасности объекта с двумя подсистемами. Примем далее её обозначение как

система пожарной безопасности. Система предотвращения пожара и система пожарной защиты должны разрабатываться для конкретного объекта. Для системы предотвращения устанавливается критерий эффективности - нормативная вероятность возникновения пожара не более 0,000001 в год в расчете на отдельный пожароопасный узел объекта. Для системы пожарной защиты критерием эффективности является нормативная величина воздействия опасных факторов пожара (ОФП) на людей не более 0,000001 в год в расчете на отдельного человека. Определено, что безопасность людей должна обеспечиваться при возникновении пожара в любом месте объекта. В качестве организационного мероприятия указывается лишь необходимость организации пожарной охраны (профилактического и оперативного обслуживания объектов).

Следующим документом взамен ГОСТ является его переизданная версия¹¹, в которой произошло уточнение в том, что пожарная безопасность обеспечивается системой предотвращения пожара, системой противопожарной защиты и организационно-техническими мероприятиями. Устанавливается, что система предотвращения пожара и система противопожарной защиты должны исключать воздействие ОФП на людей. В качестве критерия эффективности выбрана вероятность воздействия ОФП на человека, которая не должна превышать нормативно установленную в размере $1 \cdot 10^{-6}$ на каждого человека. В целом, в данном документе расширяются требования, которые должны быть реализованы в составе таких систем. Произошло и расширение списка организационно-технических мероприятий, которые должны включать:

- организацию пожарной охраны;
- паспортизацию веществ, материалов, изделий, тех. процессов и объектов;
- широкое привлечение общественности к вопросам обеспечения пожарной безопасности (ПБ);
- и др.

Затем, проведено еще одно переиздание ГОСТ¹², в котором, как и ранее определено, что пожарная безопасность должна обеспечиваться системой предотвращения пожара, системой противопожарной защиты и организационно-техническими мероприятиями. В качестве критерия оценки пожарной безопасности выступает требуемый уровень обеспечения безопас-

⁹ О пожарной безопасности [Электронный ресурс]: федер. закон от 21 декабря 1994 года № 69-ФЗ // Гарант: информ.-правовое обеспечение. Электрон. Дан. М., 2020. Доступ из локальной сети б-ки Академии ГПС МЧС России.

¹⁰ ГОСТ Р 12.1.004–76. Система стандартов безопасности труда. Пожарная безопасность. Общие требования.

¹¹ ГОСТ Р 12.1.004–85. Система стандартов безопасности труда. Пожарная безопасность. Общие требования.

¹² ГОСТ Р 12.1.004–91. Система стандартов безопасности труда. Пожарная безопасность. Общие требования.

ности людей с учетом систем пожарной безопасности, и должен быть не менее 0,999999 предотвращения воздействия ОФП на человека, а допустимый уровень пожарной безопасности для людей не более $1 \cdot 10^{-6}$. Для всех перечисленных систем в рассматриваемом ГОСТ расширяются и уточняются требования. Организационно-технические мероприятия включают практически те же меры что и раньше.

Далее, с принятием федерального закона¹³ вводится понятие система обеспечения пожарной безопасности, определение которой приведено выше. В данном законе определена система обеспечения пожарной безопасности в целом, объект как таковой является элементом такой системы, к числу обязанностей которого, относятся следующие:

- соблюдать требования пожарной безопасности, а также выполнять предписания, постановления и иные законные требования должностных лиц пожарной охраны;
- разрабатывать и осуществлять меры пожарной безопасности;
- проводить противопожарную пропаганду, а также обучать своих работников мерам пожарной безопасности;
- включать в коллективный договор (соглашение) вопросы пожарной безопасности;
- содержать в исправном состоянии системы и средства противопожарной защиты, включая первичные средства тушения пожаров, не допускать их использования не по назначению;
- оказывать содействие пожарной охране при тушении пожаров, установлении причин и условий их возникновения и развития, а также при выявлении лиц, виновных в нарушении требований пожарной безопасности и возникновении пожаров;
- предоставлять в установленном порядке при тушении пожаров на территориях предприятий необходимые силы и средства;
- обеспечивать доступ должностным лицам пожарной охраны при осуществлении ими служебных обязанностей на территории, в здания, сооружения и на иные объекты предприятий;
- и др.

Отдельным положением закона предписывается, что руководитель организации осуществляется непосредственное руководство системой пожарной безопасности в пределах своей компетенции на объекте и несет

персональную ответственность за соблюдение требований пожарной безопасности.

Следующим нормативно-правовым актом внесшим изменение в определение пожарной безопасности объекта и действующим на момент проведения настоящего исследования является технический регламент о требованиях пожарной безопасности¹⁴, который по своей сути является «приемником» последнего ГОСТ¹¹, и в более структурированном виде описывает систему обеспечения пожарной безопасности в категориях системы с позиции теории управления [12], однако все еще в недостаточном виде и содержании.

Впервые формулируется цель такой системы — предотвращение пожара, обеспечение безопасности людей и защита имущества при пожаре. Система состоит из 3-х подсистем: система предотвращения пожара, система противопожарной защиты и комплекс организационно-технических мероприятий по обеспечению пожарной безопасности. Впервые вводится понятие пожарного риска. В качестве критерия пожарной безопасности объекта устанавливается два условия, по принципу «или»:

1. В полном объеме выполнены требования пожарной безопасности технических регламентов и пожарный риск не превышает допустимого значения (для общественных объектов 10^{-6}).

2. В полном объеме выполнены требования пожарной безопасности технических регламентов и нормативных документов по пожарной безопасности.

Обобщение проведенного обзора становления и развития системы обеспечения пожарной безопасности объекта проиллюстрировано на рис. 10.

Начиная с момента первого введения пожарной безопасности как системы в 1975 году, структура системы не претерпела значительных изменений. Из редакции в редакцию происходило уточнение требования к подсистемам. Организационно-техническим мероприятием в составе системы уделялась существенно мало внимания. Происходило изменение критериев оценки функционирования системы, однако количественное значение критерия оценки не изменялось и составляет $1 \cdot 10^{-6}$. С 2008 года установлено и формализовано, два критерия, в каждом из которых предусмотрено выполнения определенного перечня требова-

¹³ О пожарной безопасности [Электронный ресурс]: федер. закон от 21 декабря 1994 года № 69-ФЗ // Гарант: информ.-правовое обеспечение. Электрон. Дан. М., 2020. Доступ из локальной сети б-ки Академии ГПС МЧС России.

¹⁴ Технический регламент о требованиях пожарной безопасности [Электронный ресурс]: федер. закон от 22 июля 2008 года № 123-ФЗ // Гарант: информ.-правовое обеспечение. Электрон. Дан. М., 2020. Доступ из локальной сети б-ки Академии ГПС МЧС России.

ния пожарной безопасности, установленной в технических регламентах.

В такой постановке вопроса, с учетом того, что руководитель объекта осуществляет управление такой системой и несет персональную ответственность за соблюдение требований пожарной безопасности необходимо рассмотреть весь процесс государственного регулирования пожарной безопасности и организационную схему управления.

Результаты обобщения проведенного анализа и представленной схемы структуры системы управления пожарной безопасностью объекта (рис. 11) позволяют сделать следующие выводы. Внешняя среда в виде требований федерального законодательства, органов надзора и др. обязывают руководителя объекта осуществлять управление системой пожарной безопасности объекта. Управляемой системой является система обеспечения пожарной безопасности объекта.

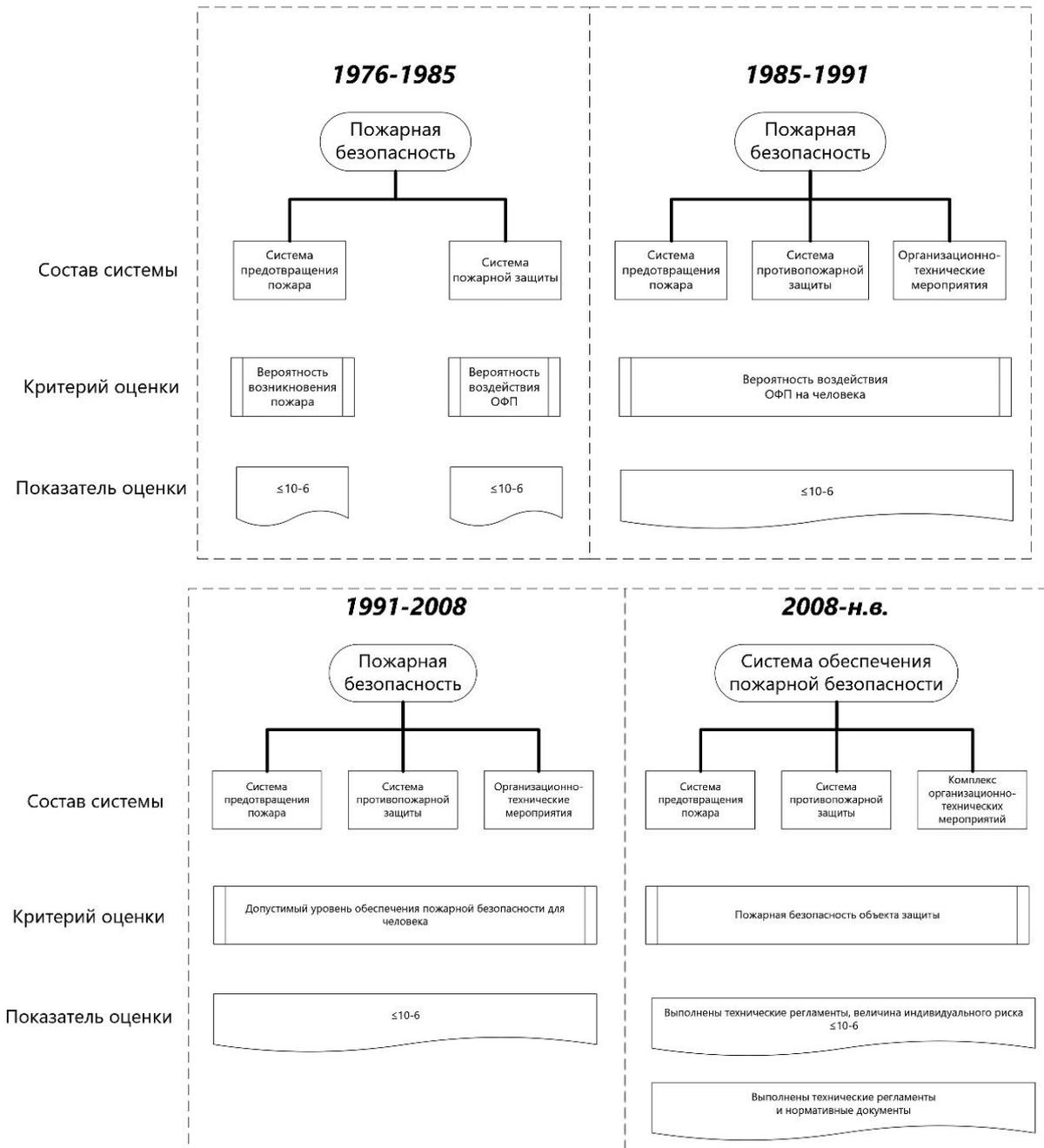


Рис. 10. Этапы развития системы обеспечения пожарной безопасности

В классической постановке задачи управления, руководитель объекта должен опираясь на состояние управляемой системы (пожарной безопасности объекта) осуществлять некоторые управляющие воздействия. Состояние управляемой системы оценивается обязательным выполнением требований пожарной безопасности и величиной индивидуального пожарного риска или полным соблюдением всех требований пожарной безопасности. Иными словами, в любой промежуток времени (так как система является динамической) руководитель должен осуществлять контроль состояния управляемой системы и при необходимости принимать управленческие

решения, направленные на приведение её в соответствующее состояния. При такой ситуации ему необходимо оценить выполнение требований что, впрочем, не под силу даже специалистам с профильным образованием. Так, в работе [13] проведена оценка надежности специалистов с опытом работы от 3-х до 5 лет с профильным образованием в области пожарной безопасности. Надежность определялась разницей между выявленным количеством нарушений требований пожарной безопасности и общим количеством на примере конкретного объекта. Результаты показали, что такой специалист может выявить лишь 16-20 % нарушений от общего числа.

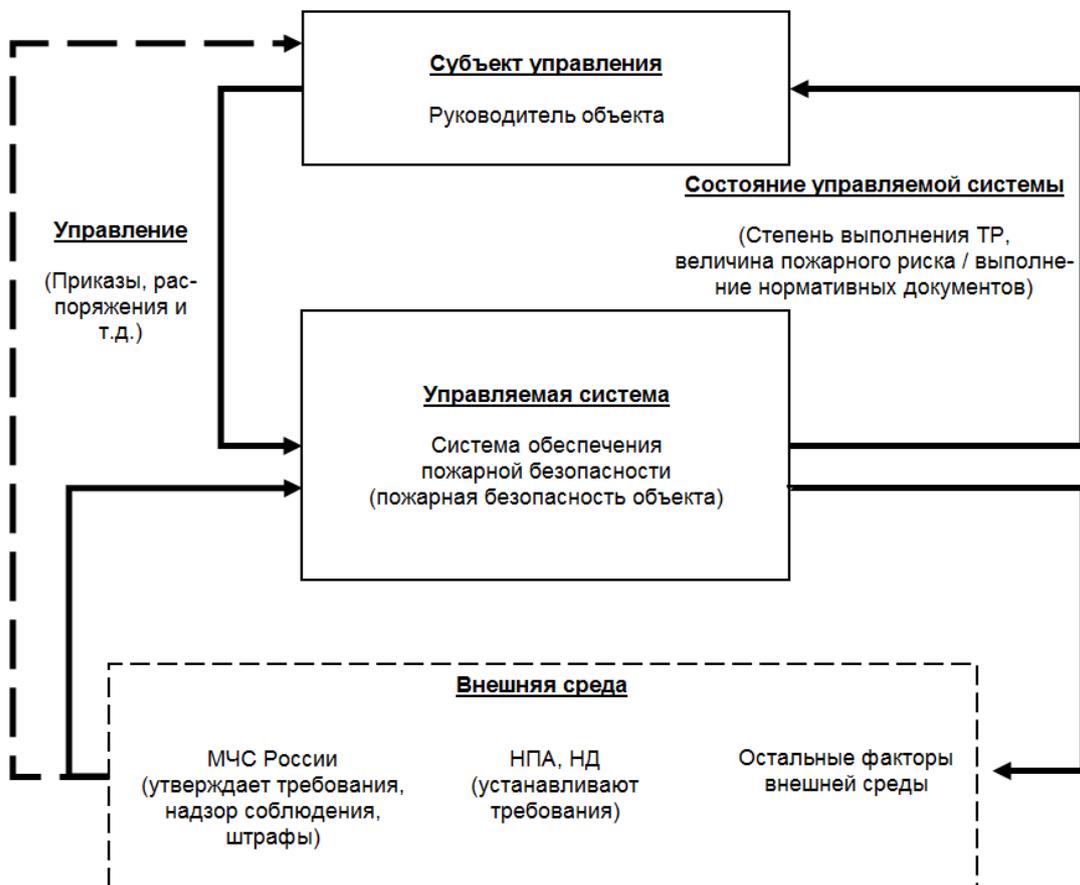


Рис. 11. Существующая структура системы управления пожарной безопасностью объекта: ТР – технический регламент, НПА – нормативно-правовой акты, НД – нормативная документация

В действительности же ситуация развивается следующим образом. Руководитель объекта получает объект с уже определенным набором и структурой системы обеспечения пожарной безопасности. При ответственном подходе, он осуществляет контроль работоспособности систем противопожарной защиты, проводятся тренировки по эвакуации, периодической обуче-

ние и инструктажи. При безответственном – нет. И это происходит не из-за того, что руководитель не хочет осуществлять управление, а из-за невозможности в настоящее время оценить состояние пожарной безопасности для принятия соответствующих решений в режиме реального времени, так как состояние такой системы является динамическим.

Результаты анализа статистических данных о пожарах в Российской Федерации показали, что гибель людей на них имеет высокие показатели (привести сравнения с другим странами), а ущерб превышает 15 миллиардов ежегодно. 90 % людей погибают при пожарах, возникших в результате нарушения правил пожарной безопасности и неосторожного обращения с огнем, что позволяет утверждать о наличии определенных проблем в области управления пожарной безопасностью объекта. Качественный анализ пожаров с массовой гибелью людей подтверждает такой вывод, так как основные причины возникновения пожара, массовой гибели и травмирования людей является нарушение в области организации и управления пожарной безопасностью объекта.

В настоящее время система обеспечения пожарной безопасности как таковая отсутствует в понятии как субъект управления, так как эта процедура не описана, нет критериев оценки эффективности системы обеспечения пожарной безопасности со стороны руководителя объекта (лица, ответственного за обеспе-

чения пожарной безопасности), руководитель фактически не понимает, чем ему нужно управлять. Другими словами, отсутствует количественный показатель (учитывающий качественные параметры), который может быть измерен (в том числе в режиме реального времени) и отражает текущее состояние пожарной безопасности объекта. Наличие такого показателя пожарной безопасности конкретного объекта, состав, структура и способ определения которого известны как руководству объекта, так и органам, осуществляющим контроль (надзор), может быть закреплено, например, в разделе мероприятий по обеспечению пожарной безопасности.

В ходе дальнейшего исследования планируется провести анкетный опрос руководителей объекта с целью оценки полученных данных, разработать механизмы оценки состояния системы обеспечения пожарной безопасности в режиме реального времени, а также разработать методы и алгоритмы поддержки принятия решений при управлении рассматриваемой системой.

Список литературы

1. Матюшин А. В., Гвоздев Е. В. Моделирование деятельности специалистов по управлению системой пожарной безопасности предприятия // Технологии техносферной безопасности. 2014. № 6(58). С. 29.

2. Матюшин А. В., Щеглов А. Н. Система оповещения и управления эвакуацией — элемент системы обеспечения пожарной безопасности людей // Комплексная безопасность России — исследования, управление, опыт: Международный симпозиум. 30-31 мая 2002 года. Сборник материалов. М.: ВНИИ ГОЧС, 2002. С. 297–299.

3. Давыдкин Н.Ф., Мешалкин Е. А. Гибкие технологии проектирования систем пожарной безопасности объекта // Пожарная безопасность. 2000. № 3. С. 94–99.

4. Брушлинский Н. Н., Соколов С. В. О концептуальных подходах к развитию обеспечения пожарной безопасности в современном обществе // Проблемы анализа риска. 2013. Т. 10. № 1. С. 34–39.

5. Брушлинский Н. Н., Глуховенко Ю. М., Соколов С. В. Управление безопасностью сложных систем: методология, технология, опыт // Комплексная безопасность России — исследования, управление, опыт: Международный симпозиум. 30-31 мая 2002 года. Сборник материалов. М.: ВНИИ ГОЧС, 2002. С. 33–34.

6. Назаров В. П., Брушлинский Н. Н., Швырков С. А. Обеспечение пожарной безопасности объектов городской застройки при развитии транспортной инфраструктуры в области допустимого риска // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. 2009. № 1. С. 20–31.

7. Юлин Д. Г., Гвоздев Е. В. Совершенствование системы обеспечения пожарной безопасности на АЗС // Проблемы и перспективы пожарно-технической экспертизы и надзора в области пожарной безопасности: Сборник трудов секции № 11 XXIX Международной научно-практической конференции, Химки, 21 марта 2019 года. Химки: Академия гражданской защиты МЧС России, 2019. С. 82–85.

8. SFPE Engineering Guide to Performance-Based Fire Protection, National Fire Protection Association, Quincy, MA (2006).

9. Meacham B.J., Charters D., Johnson P., Salisbury M. (2016) Building Fire Risk Analysis. In: Hurley M.J. et al. (eds) SFPE Handbook of Fire Protection Engineering. Springer, New York, NY. DOI: 10.1007/978-1-4939-2565-0_75

10. Kuehnen R. T., Youssef M. A., El-Fitany S. (2019). Performance-Based Design of RC Columns using an Equivalent Standard Fire / Fire Safety Journal, 102935. DOI:10.1016/j.firesaf.2019.102935

11. Lu L., Yuan G., Huang Z., Shu Q., Li Q. (2017). Performance-based analysis of large

steel truss roof structure in fire. *Fire Safety Journal*, 93, 21–38. DOI:10.1016/j.firesaf.2017.08.002

12. Новиков Д. А. *Методология управления*. М.: Либроком, 2011. 128 с.

13. Козлачков В. И. Проблемы и методы совершенствования подготовки пожарно-профилактических работников. *Комплексный подход* // Минск: «Полюмя», 1991.

References

1. Matyushin A. V., Gvozdev E. V. Modelirovanie deyatel'nosti specialistov po upravleniyu sistemoy pozharnoy bez-opasnosti predpriyatiya [Modeling of the activities of specialists in the management of the fire safety system of the enterprise]. *Tekhnologii tekhnosfernoj bezopasnosti*, 2014, vol. 6(58), P. 29.

2. Matyushin A. V., Shcheglov A. N. Sistema opoveshcheniya i upravleniya evakuacij - element sistemy obespecheniya pozharnoy bezopasnosti lyudej [Evacuation warning and control system - an element of the fire safety system for people]. *Kompleksnaya bezopasnost' Rossii — issledovaniya, upravlenie, opyt: Mezhdunarodnyj simpozium. 30-31 maya 2002 goda. Sbornik materialov. M., VNI GOCHS*, 2002, pp. 297–299.

3. Davydkin N. F., Meshalkin E. A. Gibkie tekhnologii proektirovaniya sistem pozharnoy bezopasnosti ob"ekta [Flexible technologies for designing fire safety systems of an object]. *Pozharnaya bezopasnost'*, 2000, issue 3, pp. 94–99.

4. Brushlinskij N. N., Sokolov S. V. O konceptual'nyh podhodakh razvitiyu obespecheniya pozharnoy bezopasnosti v so-vremennom obshchestve [On conceptual approaches to the development of fire safety in modern society]. *Problemy analiza riska*, 2013, vol. 10, issue 1, pp. 34–39.

5. Brushlinskij N. N., Gluhovenko Yu. M., Sokolov S. V. Upravlenie bezopasnost'yu slozhnyh sistem: metodologiya, tekhnologiya, opyt [Security management of complex systems: methodology, technology, experience]. *Kompleksnaya bezopasnost' Rossii — issledovaniya, upravlenie, opyt: Mezhdunarodnyj simpozium. 30-31 maya 2002 goda. Sbornik materialov. M., VNI GOCHS*, 2002, pp. 33–34.

6. Nazarov V. P., Brushlinskij N. N., Shvyrkov S. A. Obespechenie pozharnoy bezopasnosti ob"ektov gorodskoj zastroyki pri razviti transportnoj in-frastruktury v oblasti dopustimogo riska [Ensuring fire safety of urban development facilities in the development of transport infrastructure in the area of acceptable risk]. *Zashchita okruzhayushchej sredy v neftegazovom komplekse*, 2009, issue 1, pp. 20–31.

7. Yulin D. G., Gvozdev E. V. Sovershenstvovanie sistemy obespecheniya pozharnoy bezopasnosti na AZS [Improvement of the fire safety system at gas stations]. *Problemy i perspektivy pozharno-tekhnicheskoy ekspertizy i nadzora v oblasti pozharnoy bez-opasnosti: Sbornik trudov sekcii № 11 HKHIX Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii*, Himki, 21 marta 2019 goda. Himki: Akademiya grazhdanskoj zashchity MCHS Rossii, 2019, pp. 82–85.

8. SFPE Engineering Guide to Performance-Based Fire Protection, National Fire Protection Association, Quincy, MA (2006).

9. Meacham B. J., Charters D., Johnson P., Salisbury M. (2016) Building Fire Risk Analysis. In: Hurley M. J. et al. (eds) SFPE Handbook of Fire Protection Engineering. Springer, New York, NY. DOI: 10.1007/978-1-4939-2565-0_75

10. Kuehnen R. T., Youssef M. A., El-Fitany S. (2019). Performance-Based Design of RC Columns using an Equivalent Standard Fire. *Fire Safety Journal*, 102935. DOI:10.1016/j.firesaf.2019.102935

11. Lu L., Yuan G., Huang Z., Shu Q., Li Q. (2017). Performance-based analysis of large steel truss roof structure in fire. *Fire Safety Journal*, 93, 21–38. DOI:10.1016/j.firesaf.2017.08.002

12. Novikov D. A. *Metodologiya upravleniya* [Management methodology]. М.: Либроком, 2011. 128 p.

13. Kozlachkov V. I. *Problemy i metody sovershenstvovaniya podgotovki pozharno-profilakticheskikh rabotnikov. Kompleksnyj podhod* [Problems and methods of improving the training of fire prevention workers. Integrated approach]. Минск: «Полюмя», 1991.

Шихалев Денис Владимирович

Академия Государственной противопожарной службы МЧС России,
Российская Федерация, г. Москва

кандидат технических наук, начальник научно-исследовательского отдела

E-mail: evacsystem@gmail.com

Shikhalev Denis Vladimirovich

Federal State Budget Educational Establishment of Higher Education «State Fire Academy of State Fire-fighting Service of Ministry of Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters»

Russian Federation, Moscow

E-mail: evacsystem@gmail.com

**СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ, ЗДАНИЯ И СООРУЖЕНИЯ
(ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ)
BUILDING STRUCTURES, BUILDINGS AND FACILITIES**

УДК 614.8.084

**АНАЛИЗ СПОСОБА КРЕПЛЕНИЯ СТРАХОВОЧНОЙ СЕТКИ
НА УЧЕБНО-ТРЕНИРОВОЧНУЮ БАШНЮ**

Т. А. ЯКОВЕНКО, В. И. АНДРЕЕВ, М. В. СТАХЕЕВ, А. А. ЮДИЧЕВ

Уральский институт ГПС МЧС России

Российская Федерация, г. Екатеринбург

E-mail: yakovenkota@bk.ru, uri_psigdzip@mail.ru, docent-sport@mail.ru

В статье рассматриваются безопасные условия труда личного состава пожарно-спасательных подразделений при проведении практических занятий и соревнований по пожарно-спасательному спорту с использованием учебной башни, оборудованной страховочной сеткой. Были выявлены недостатки в области нормативно-правового регулирования требований к конструкции страховочных устройств учебной башни. Для оценки требований к оборудованию учебной башни страховочной сеткой был проведен анализ прочностных характеристик балок крепления, удерживающих страховочную сетку, в условиях максимальной нагрузки при одновременном падении четырех человек с последнего этажа учебно-тренировочной башни. Расчет показал несоответствие конструктивных решений, установленных нормативно, условиям прочности.

Ключевые слова: учебно-тренировочная башня, страховочная сетка, способ крепления, надежность.

**ANALYSIS OF THE METHOD OF ATTACHING THE SAFETY NET
TO THE TRAINING TOWER**

T. A. YAKOVENKO, V. I. ANDREEV, M. V. STACHEEV, A. A. UDICHEV

Federal State Budget Educational Establishment of Higher Education

«The Ural Institute of State Firefighting Service of Ministry of Russian Federation
for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters»,
Russian Federation Yekaterinburg

E-mail: yakovenkota@bk.ru, uri_psigdzip@mail.ru, docent-sport@mail.ru

The article discusses the safe working conditions of the personnel of fire and rescue units during practical training and competitions in fire and rescue sports using a training tower equipped with a safety net. Shortcomings in the field of regulatory regulation of requirements for the design of safety devices of the training tower were identified. To assess the requirements for the equipment of the training tower with a safety net, an analysis of the strength characteristics of the fastening beams holding the safety net was carried out under maximum load conditions when four people simultaneously fell from the last floor of the training tower. The calculation showed the discrepancy between the design solutions established by the standard and the strength conditions.

Key words: training tower, safety net, method of attaching, reliability.

По данным мониторинга охраны труда в МЧС России за 9 месяцев 2020 года в 10 % случаях причиной травматизма личного состава пожарно-спасательных подразделений стало участие в спортивно-массовых мероприятиях. Причинами получения травм при проведении спор-

тивной массовой работы, отработке нормативов и принятии зачетов в пожарно-спасательных подразделениях в 2019 и 2020 годах явились: падение с высоты — 2 случая, сдача нормативов или участие на соревнованиях — 3 случая, личная неосторожность — 40 случаев [1].

Одним из путей минимизации травматизма среди сотрудников и работников ведомства могли стать следующие ограничения: со-

крашение количества соревнований по служебно-прикладным видам спорта, уменьшение количества нормативов для отработки и соответственно, количества принимаемых зачетов. Такой путь развития подготовки специалистов пожарно-спасательного формирования, при его осуществлении, пошел бы в разрез с действующей системой профессиональной подготовки, утвержденной приказом МЧС России от 26 октября 2017 г. № 472 «Об утверждении Порядка подготовки личного состава пожарной охраны».

На сегодняшний день система профессиональной подготовки личного состава пожарной охраны, базирующаяся на целенаправленности организованного процесса по овладению и постоянному совершенствованию знаний, умений и навыков, необходимых для успешного выполнения задач, доказывает свою эффективность.

В рамках профессиональной подготовки каждый сотрудник и работник обязан заниматься служебно-прикладным видом спорта «Пожарно-спасательный спорт», готовиться и сдавать нормативы по пожарно-строевой подготовке и физической подготовке в объемах, определенных нормативными документами МЧС России. Для соревнований по пожарно-спасательному спорту — не менее одного раза в течение учебного года на личное и личнo-командное первенство, для физической подготовки — 100 часов в год отводится на учебные занятия и сдачу контрольных нормативов¹.

Рассматривая безопасные условия труда в подразделениях МЧС России как условия труда, при которых воздействие на личный состав вредных и (или) опасных производственных факторов исключено либо уровни их воздействия не превышают установленных нормативов², а работу на высоте как производственный фактор, воздействие которого на работника может привести к его травме выявлены ряд противоречий: по законодательному закреплению организационно-технических мероприятий в области охраны труда и проектно-конструкторским возможностям их осуществления.

Одним из организационно-технических мероприятий по охране труда в пожарно-спасательных подразделениях МЧС России является соблюдение правил по охране труда в подразделениях пожарной охраны³.

Учебная башня (рис. 1) является одной из частей учебно-тренировочного комплекса по подготовке пожарных. В связи с обновлением законодательства в области охраны труда для подразделений пожарной охраны, существенно сокращены обязательные требования к внешнему виду и конструктивным особенностям учебной башни. Особое внимание стоит обратить на отсутствие конструктивных решений по системам безопасности учебной башни.

Учебная башня используется для практических занятий с личным составом подразделений по дисциплине «Пожарно-строевая подготовка» и в рамках изучения следующим тем: «Упражнение с ручными пожарными лестницами, автолестницами», «Упражнения с пожарными рукавами, стволами и разветвлениями», «Упражнения по спасанию и эвакуации пострадавших», «Упражнения по разворачиванию расчетов» и «Упражнения по пожарно-спасательному спорту».

Для подготовки, организации и проведения соревнований различного уровня по служебно-прикладному виду спорта «Пожарно-спасательный спорт» учебная башня используется в таких видах программы, как подъем по штурмовой лестнице в окна второго, третьего, четвертого этажей учебной башни и установка и подъем по трехколенной выдвигной лестнице.

В правилах проведения соревнований по служебно-прикладному виду спорта «Пожарно-спасательный спорт», содержатся основные требования к учебно-материальной базе, в том числе и к системе безопасности при падении участников с учебной башни⁴.

В систему безопасности учебной башни для проведения тренировочных занятий и соревнований входят: предохранительная подушка, страховочные устройства и страховочная сетка.

Страховочная сетка, как часть системы безопасности, появилась в начале 2000-х годов и документально была закреплена в правилах проведения соревнований по пожарно-прикладному спорту 2005 года, правилах служебно-прикладного вида спорта «Пожарно-прикладной спорт» (утверждены приказом Минспорттуризма России от «21» января 2011 г. № 32) и в правилах проведения соревнований по служебно-прикладному виду спорта «Пожарно-спасательный спорт», утвержденных приказом министерства спорта РФ от

¹ Приказ МЧС России от 26.10.2017 г. № 472 «Об утверждении порядка подготовки личного состава пожарной охраны».

² Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 № 197-ФЗ (ред. от 09.03.2021).

³ Приказ Министерства труда и социальной защиты РФ от 11.12.2020 г. № 881н «Об

утверждении Правил по охране труда в подразделениях пожарной охраны».

⁴ Приказ Министерства спорта РФ от 28 января 2020 г. № 35 «Об утверждении правил служебно-прикладного вида спорта «Пожарно-спасательный спорт»».

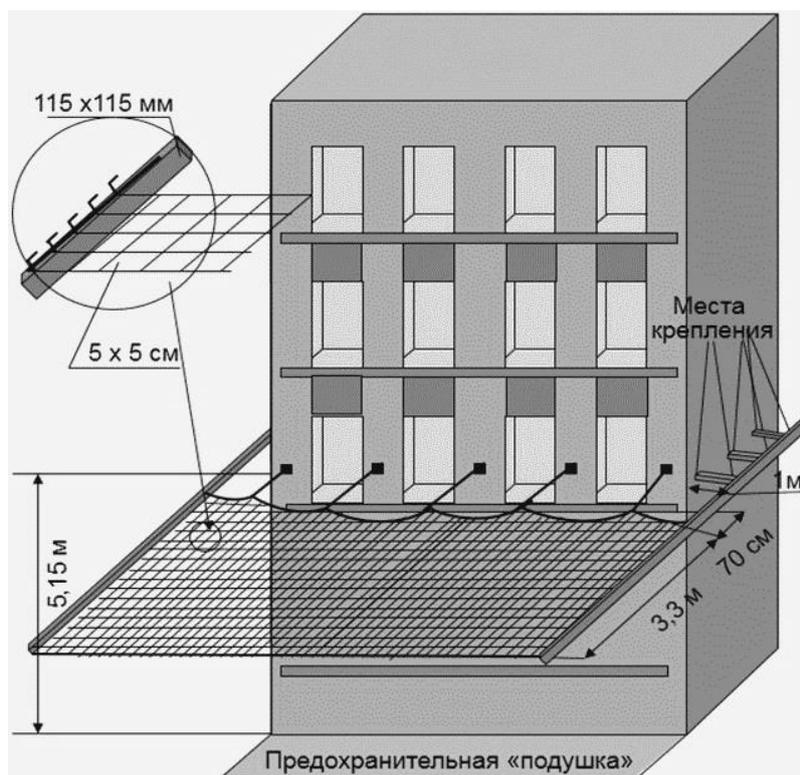


Рис. 2. Конструкция для крепления страховочной сетки

Исходными условиями для расчета принята теоретически возможная ситуация, при которой конструкция крепления страховочной сетки была бы нагружена максимально как статически, так и динамически. Подобная ситуация может сложиться в случае одновременного падения всех четырех участников с высоты подоконника 4 этажа учебной башни. Стоит отметить, что при расчетах пришлось пренебречь требованиями правил по пожарно-спасательному спорту, касающихся каркаса, на который крепится страховочная сетка, по причине отсутствия у отечественных производителей металлической трубы квадратного сечения 115×115 мм и металлической трубы круглого сечения 115 мм.

Были приняты следующие исходные данные для расчета:

- масса участника со снаряжением – $m_{\text{пож}} = 110 \text{ кг}$;
- высота падения участников – $h = 5,7 \text{ м}$;
- масса страховочной сетки – $m_{\text{сет}} = 25 \text{ кг}$;⁵
- размер страховочной сетки – 11,5×3,3 м (рис. 2);

⁵ Снаряжение, оборудование по пожарно-прикладному спорту. URL: <https://www.altairpb.ru/katalog/product/view/57/1170> (дата обращения: 09.04.2021).

- длина вылета конструкции для крепления сетки – 4,4 м;
- сечение балки для крепления сетки – квадратная металлическая труба 110×110 мм, толщина стенки – 6 мм, масса погонного метра трубы 19,11 кг/м, осевые моменты инерции $I_x = I_y = 433,59 \text{ см}^4$, осевые моменты сопротивления $W_x = W_y = 78,83 \text{ см}^4$,⁶ модуль упругости первого рода $E = 2 \cdot 10^5 \text{ МПа}$.

Определим нагрузку, действующую на балки крепления. В нее входит вес 4 пожарных и вес страховочной сетки.

$$P = 4m_{\text{пож}}g + m_{\text{сет}}g = 4 \cdot 110 \cdot 9,8 + 25 \cdot 9,8 = 4557 \text{ Н.} \quad (1)$$

Тогда на каждую балку крепления будет приходиться нагрузка

$$P_1 = P_2 = 0,5P = 2278,5 \text{ Н,}$$

которая распределяется по всей длине крепления сетки с интенсивностью

$$q_1 = q_2 = \frac{P_1}{3,3} \approx 690,45 \text{ Н/м.}$$

⁶ ГОСТ 8639-82. Трубы стальные квадратные.

При расчете на прочность необходимо также учесть вес самой балки крепления, который составляет $q_{mp} = 187,278 \text{ Н/м}$.

При падении пожарных на сетку образуется провис нитей сетки (рис.3). Определим угол наклона нитей сетки к горизонтали:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{2y(a)}{l} = \frac{2 \cdot 0,5}{11,5} \approx 0,087. \quad (2)$$

Тогда угол $\alpha = 4,97^\circ$.

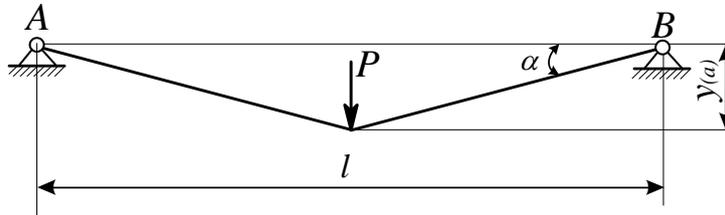


Рис. 3. Схема удлинения нити
 $l = 11,5 \text{ м}$ – длина нитей сетки, $y(a) = 0,5 \text{ м}$ – допустимый провис

Тогда нагрузка на балку крепления будет иметь вид, изображенный на рис. 4. Балка крепления испытывает деформацию косоугольного изгиба. Для проверки прочности балки крепления необходимо определить максимальное напряжение [3] по формуле:

$$\sigma_{max} = \pm \frac{M_x}{W_x} \pm \frac{M_y}{W_y} \quad (3)$$

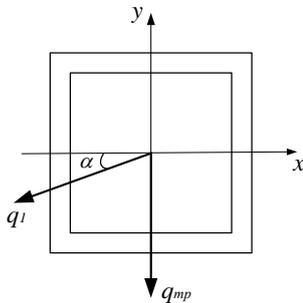


Рис. 4. Схема приложения нагрузки к балке крепления

Для проверки прочности балки крепления определим максимальный изгибающий момент в плоскости YOZ по схеме, изображенной на рис. 5, где $l_1 = 3,3 \text{ м}$, $l_2 = 1,1 \text{ м}$, q_{1y} – распределенная нагрузка на балку, определяемая по формуле (4), q_{mp} – распределенный вес трубы.

$$q_{1y} = q_1 \sin \alpha = 690,45 \cdot \sin 4,97^\circ \approx 60,069 \text{ Н/м}. \quad (4)$$

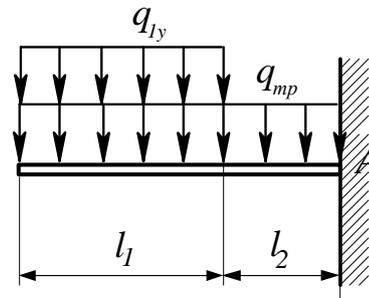


Рис. 5. Расчетная схема балки крепления в плоскости YOZ

Максимальный изгибающий момент от заданной нагрузки действует в заделке и равен:

$$M_x = M_{A(YOZ)} = -q_{тр} \cdot \frac{(l_1 + l_2)^2}{2} - q_{1y} \cdot l_1 \cdot \left(l_2 + \frac{l_1}{2} \right) = -187,278 \cdot \frac{(3,3 + 1,1)^2}{2} - 60,069 \cdot 3,3 \cdot \left(1,1 + \frac{3,3}{2} \right) = -2357,98 \text{ Нм}. \quad (5)$$

Затем определим максимальный изгибающий момент в плоскости XOZ по схеме, изображенной на рис. 6, где $l_1 = 3,3 \text{ м}$, $l_2 = 1,1 \text{ м}$, q_{1x} – распределенная нагрузка на балку, определяемая по формуле (6).

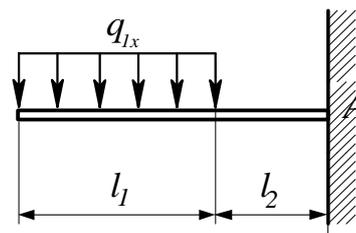


Рис. 6. Расчетная схема балки крепления в плоскости XOZ

$$q_{1x} = q_1 \cos \alpha = 690,45 \cdot \cos 4,97^\circ \approx 688,38 \text{ Н/м.} \quad (6)$$

Максимальный изгибающий момент от заданной нагрузки действует в заделке и будет равен:

$$M_y = M_{A(XOZ)} = -q_{1x} \cdot l_1 \cdot \left(l_2 + \frac{l_1}{2} \right) = -688,38 \cdot 3,3 \cdot \left(1,1 + \frac{3,3}{2} \right) = -6247,05 \text{ Нм.} \quad (7)$$

Определим максимальное напряжение, возникающее в балке крепления по формуле (7):

$$\sigma_{max} = \frac{2357,98 \cdot 10^3}{78,83 \cdot 10^3} + \frac{6247,05 \cdot 10^3}{78,83 \cdot 10^3} \approx 109,16 \text{ МПа.}$$

Сравнивая максимальное напряжение, возникающее в балке крепления с допустимым напряжением ($[\sigma] = 160 \text{ МПа}$) получаем, что при статическом приложении нагрузки балка крепления удовлетворяет условию прочности. Максимальное напряжение при динамическом приложении нагрузки [3] будет определяться по формуле:

$$\sigma_{maxд} = k_{дин} \sigma_{max}, \quad (8)$$

где $k_{дин}$ – динамический коэффициент.

Динамический коэффициент при ударе тела, падающего с высоты h [3] рассчитывается по формуле:

$$k_{дин} = 1 + \sqrt{1 + \frac{2h}{\delta_{ст}}}, \quad (9)$$

где $\delta_{ст}$ – статическая деформация балки крепления.

Для определения статической деформации балки крепления найдем максимальные прогибы балки вдоль осей x и y , используя метод начальных параметров [3].

Определим прогиб балки вдоль оси y по формуле (схема к расчету изображена на рис. 5):

$$y(z) = y_0 + \theta_{y0}z + \frac{1}{EI_x} \left(-\frac{q_{1y}z^4}{4!} + \frac{q_{1y}(z-l_1)^4}{4!} - \frac{q_{mp}z^3}{3!} \right), \quad (10)$$

где θ_{y0} – угол поворота свободного конца балки крепления в плоскости YOZ.

Определим угол поворота балки по формуле:

$$\theta_y(z) = \theta_{y0} + \frac{1}{EI_x} \left(-\frac{q_{1y}z^3}{3!} + \frac{q_{1y}(z-l_1)^3}{3!} - \frac{q_{mp}z^2}{2!} \right). \quad (11)$$

Подставив исходные данные, получим следующую зависимость:

$$\theta_y(z) = \theta_{y0} - 0,047539 \cdot 10^{-12}z^3 + 0,011545 \cdot 10^{-12}(z-3,3)^3. \quad (12)$$

Так как в заделке угол поворота балки равен нулю ($\theta_y(4,4) = 0$), то угол поворота свободного конца балки равен:

$$\theta_{y0} = (0,047539 \cdot 4,4^3 + 0,011545 \cdot (4,4 - 3,3)^3) \cdot 10^{-12} \approx 0,004034 \cdot 10^{-12} \text{ рад.}$$

Подставляя полученное значение и сходные данные в формулу (10) получаем зависимость прогиба балки по оси y от ее длины:

$$y(z) = y_0 + (0,004034z - 0,011885z^4 + 0,002886(z-3,3)^4) \cdot 10^{-12}. \quad (13)$$

Так как в заделке прогиб балки равен нулю ($y(4,4) = 0$), то прогиб свободного конца балки равен:

$$y_{max} = y_0 = (-0,004034 \cdot 4,4 + 0,011885 \cdot 4,4^4 - 0,002886(4,4 - 3,3)^4) \cdot 10^{-12} \approx -13,34 \text{ мм.}$$

Определим прогиб балки вдоль оси x по формуле (схема к расчету изображена на рисунке 6):

$$x(z) = x_0 + \theta_{x0}z + \frac{1}{EI_y} \left(-\frac{q_{1x}z^4}{4!} + \frac{q_{1x}(z-l_1)^4}{4!} \right), \quad (14)$$

где θ_{x0} – угол поворота свободного конца балки крепления в плоскости XOZ.

Определим угол поворота балки по формуле:

$$\theta_x(z) = \theta_{x0} + \frac{1}{EI_y} \left(-\frac{q_{1x}z^3}{3!} + \frac{q_{1x}(z-l_1)^3}{3!} \right). \quad (15)$$

Подставив исходные данные, получим следующую зависимость:

$$\theta_x(z) = \theta_{x0} - 0,132302 \cdot 10^{-12}z^3 + 0,132302 \cdot 10^{-12}(z-3,3)^3. \quad (16)$$

Так как в заделке угол поворота балки равен нулю ($\theta_x(4,4) = 0$), то угол поворота свободного конца балки равен:

$$\theta_{x0} = (0,132302 \cdot 4,4^3 + 0,132302 \cdot (4,4 - 3,3)^3) \cdot 10^{-12} \approx 0,011094 \cdot 10^{-12} \text{ рад.}$$

Подставляя полученное значение и сходные данные в формулу (14) получаем зависимость прогиба балки по оси x от ее длины:

$$x(z) = x_0 + (0,011094z - 0,033076z^4 + 0,033076(z - 3,3)^4) \cdot 10^{-12}. \quad (17)$$

Так как в заделке прогиб балки равен нулю ($y(4,4) = 0$), то прогиб свободного конца балки равен:

$$x_{max} = x_0 = (-0,011094 \cdot 4,4 + 0,033076 \cdot 4,4^4 - 0,033076(4,4 - 3,3)^4) \cdot 10^{-12} \approx -36,49 \text{ мм.}$$

Определим максимальную статическую деформацию балки крепления по формуле:

$$\delta_{cm} = \sqrt{(x_{max})^2 + (y_{max})^2} = \sqrt{(-36,49)^2 + (-13,34)^2} \approx 38,84 \text{ мм.} \quad (18)$$

Динамический коэффициент при одновременном падении 4 пожарных на сетку с 4 этажа учебно-тренировочной башни будет равен (9):

$$k_{дин} = 1 + \sqrt{1 + \frac{2 \cdot 5,7 \cdot 10^3}{38,84}} \approx 18,16.$$

Максимальное напряжение в балках крепления при динамическом приложении нагрузки будет равно (8):

$$\sigma_{maxд} = 18,16 \cdot 109,16 \approx 1982,35 \text{ МПа} > [\sigma] = 160 \text{ МПа.}$$

Приведенные расчеты выявили недостатки в конструктивных особенностях каркаса, на который крепится страховочная сетка при обустройстве учебной башни. Предложенные нормативами балки крепления страховочной сетки не удовлетворяют условию прочности, при возникновении максимально критической ситуации, которая может произойти при одновременном падении на страховочную сетку четырех человек с четвертого этажа учебно-тренировочной башни. Для создания безопасных условий труда при эксплуатации учебной башни для подготовки личного состава пожарно-спасательных подразделений и проведения соревнований по служебно-прикладному виду спорта «Пожарно-спасательный спорт» необходимо уточнить и унифицировать требования к системам безопасности на учебных башнях с обязательным использованием всех возможных страховочных устройств.

Список литературы

1. Анализ травматизма и гибели личного состава МЧС России за 9 месяцев 2020 года. Письмо МЧС России № М-АГ-44 от 27.10.2020. URL: <https://fireman.club/literature/analiz-travmatizma-i-gibeli-lichnogo-sostava-mchs-rossii-za-9-mesyatsev-2020-goda/> (дата обращения: 09.04.2021).
2. Юсупов А. А., Стахеев М. В., Кузнецов А. А. Расчет натяжения нитей сетки, как страховочного средства учебной башни при проведении занятий с личным составом подразделений ГПС МЧС России // Техносферная безопасность. 2016. № 4 (13). С. 11–16.
3. Степин П. А. Сопротивление материалов [Электронный ресурс]. СПб.: Лань, 2014. 320 с. <http://e.lanbook.com/book/3179>.

References

1. Analiz travmatizma i gibeli lichnogo sostava MCHS Rossii za 9 mesyacev 2020 goda. Pis'mo MCHS Rossii № M-AG-44 ot 27.10.2020. URL: <https://fireman.club/literature/analiz-travmatizma-i-gibeli-lichnogo-sostava-mchs-rossii-za-9-mesyatsev-2020-goda/> (data obrashcheniya: 09.04.2021).
2. Yusupov A. A., Staheev M. V., Kuznecov A. A. Raschet natyazheniya nitej setki, kak strahovochnogo sredstva uchebnoj bashni pri provedenii zanyatij s lichnym sostavom podrazdelenij GPS MCHS Rossii [Calculation of the tension of the mesh threads as a safety device for the training tower when conducting classes with the personnel of the State Fire Service of the EMERCOM of Russia]. Tekhnosfernaya bezopasnost'. 2016. № 4 (13). pp. 11–16.
3. Stepin P. A. Soprotivlenie materialov [Strength of materials]. [Elektronnyj resurs] SPb.: Lan', 2014, 320 p. <http://e.lanbook.com/book/3179>.

Яковенко Татьяна Анатольевна
Уральский институт ГПС МЧС России,
Российская Федерация, г. Екатеринбург
кандидат технических наук, доцент
E-mail: yakovenkota@bk.ru

Yakovenko Tatyana Anatolyevna

Ural Institute of State Firefighting Service of Ministry of Russian Federation for Civil Defense
Russian Federation, Yekaterinburg
candidate of technical sciences, associate professor
E-mail: yakovenkota@bk.ru

Андреев Владимир Ильич

Уральский институт ГПС МЧС России,
Российская Федерация, г. Екатеринбург
кандидат педагогических наук, доцент
E-mail: uri_psigdzp@mail.ru

Andreev Vladimir Ilyich

Ural Institute of State Firefighting Service of Ministry of Russian Federation for Civil Defense
Russian Federation, Yekaterinburg
candidate of pedagogical sciences, associate professor
E-mail: uri_psigdzp@mail.ru

Стахеев Максим Валерьевич

Уральский институт ГПС МЧС России,
Российская Федерация, г. Екатеринбург
старший преподаватель
E-mail: docent-sport@mail.ru

Stakheev Maxim Valerievich

Ural Institute of State Firefighting Service of Ministry of Russian Federation for Civil Defense
Russian Federation, Yekaterinburg
senior lecturer
E-mail: docent-sport@mail.ru

Юдичев Анатолий Александрович

Уральский институт ГПС МЧС России,
Российская Федерация, г. Екатеринбург
старший преподаватель
E-mail: uri_psigdzp@mail.ru

Yudichev Anatoly Alexandrovich

Ural Institute of State Firefighting Service of Ministry of Russian Federation for Civil Defense
Russian Federation, Yekaterinburg
senior lecturer
E-mail: uri_psigdzp@mail.ru

**СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ (ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ)
BUILDING MATERIALS AND PRODUCTS (TECHNICAL)**

УДК 614.841.315

**СНИЖЕНИЕ ПОЖАРНОЙ ОПАСНОСТИ ПЕНОПОЛИСТИРОЛА
В УСЛОВИЯХ ВЫСОКИХ ТЕМПЕРАТУР**

М. В. АКУЛОВА^{1,2}, А. М. МОЧАЛОВ², М. В. ПУГАНОВ²

¹ ФГБОУ ВО Ивановский государственный политехнический университет,
Российская Федерация, г. Иваново;

² Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,
Российская Федерация, г. Иваново

E-mail: m_akulova@mail.ru, anton.mochalov.93@mail.ru, mvpuganov@yandex.ru

В условиях быстроразвивающейся экономики пристальное внимание уделяется быстрому возведению объектов, предназначенных для постоянного и временного пребывания людей. При этом предъявляются серьезные требования к обеспечению безопасности во всех ее аспектах, в том числе к поддержанию соответствующего температурного режима и противопожарной защите объекта. В целях теплоизоляции распространено широкое применение пенополистирольных плит. С помощью таких плит представляется возможным утеплить практически любую часть объекта: пол, стены, потолок. Высокий показатель теплоизоляционного свойства в совокупности с низкой ценой делают данный материал практически незаменимым при утеплении зданий, однако высокая пожарная опасность ограничивает его применение.

В статье описывается работа, направленная на снижение опасности пенополистирола по показателю «горючесть», приводятся данные о составе, предназначенном для огнезащитной обработки пенополистирольной плиты, подборе оптимальной концентрации с помощью двухфакторного эксперимента.

Ключевые слова: пожарная безопасность, горючесть пенополистирола, огнезащитные составы, органосилоксаны, снижение пожарной опасности пенополистирола.

REDUCING THE FIRE HAZARD OF STYROFOAM AT HIGH TEMPERATURES

M. V. AKULOVA¹, A. M. MOCHALOV², M. V. PUGANOV²

¹ Federal State Budget Educational Institution of Higher Education «Ivanovo State Polytechnical University»,
Russian Federation, Ivanovo;

² Federal State Budget Educational Establishment of Higher Education
«Ivanovo Fire Rescue Academy of State Firefighting Service of Ministry of Russian Federation
for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters»,
Russian Federation, Ivanovo

E-mail: m_akulova@mail.ru, anton.mochalov.93@mail.ru

In a fast-growing economy, close attention is paid to the rapid construction of facilities designed for permanent and temporary residence of people. At the same time, there are serious requirements for ensuring safety in all its aspects, including maintaining an appropriate temperature regime and fire protection of the object. For the purposes of thermal insulation, expanded polystyrene boards are widely used. With the help of such plates, it is possible to insulate almost any part of the object: the floor, walls, ceiling. The high rate of thermal insulation properties combined with the low price make this material almost indispensable for the insulation of buildings, but the high fire hazard limits its use.

The article describes the work aimed at reducing the danger of styrofoam in terms of "combustibility", provides data on the composition intended for fire-resistant treatment of styrofoam boards, the selection of the optimal concentration.

Key words: fire safety, Flammability of Styrofoam, flame retardants, organosiloxanes, reduction of fire hazard of Styrofoam.

Пенополистирольные плиты являются воспламеняемыми и горючими [1, 2].

При испытании пенополистирольных плит было установлено, что при воздействии пламенем горелки на поверхность материала образуется расплав, горящие капли которого можно наблюдать в течение 10–15 секунд после начала интенсивного горения, наличие горящих капель расплава позволяет сделать вывод о необходимости отнесения материала к группе Г4 (сильногорючие материалы).

В ходе проведения исследований, направленных на определение безопасности самозатухающих пенополистирольных плит ПСБ, ПСБ-С в ряде случаев не наблюдалось появление горящих капель расплава, однако по остальным параметрам эти материалы относятся к группам горючести Г3 или Г4. Кроме того, результаты, представленные в отчете [4] позволяют сделать вывод о небезопасности применения самозатухающего пенополистирола. Перечень положительных свойств пенополистирола, позволяет назвать его эффективным строительным материалом, применения которого позволяет сэкономить ресурсы в процессе утепления объектов, но отрицательные пожароопасные свойства данного материала ограничивают его повсеместное применение.

В данной статье рассматривается возможность применения огнезащитных составов на основе органосилоксанов и жидкого стекла, приводящих к снижению времени самостоятельного горения пенополистирольных плит.

Основой методологии работы, проведенной авторами, стал ГОСТ 30244-94 «Материалы строительные. Методы испытаний на горючесть».

Объектами исследования стали пенопласты, применяемые в строительстве в качестве утеплителей, ограждающих конструкций зданий и сооружений - пенополистиролы типов RAVATHERM XPS STANDARD (ТУ 2244-002-00259620-2013 и ПСБ-С 15У (ТУ 2244-007-04001508-96)¹.

Общий вид установки для испытания горючесть и подробное описание результатов

предварительных исследований приведены в статье [7].

В ходе исследований были исследованы на эффективность защиты пенополистирольных плит следующие составы:

Состав №1 (5 % органосилоксан, 1 % раствор сульфанола);

Состав №2 (5 % жидкое стекло, 1 % раствор сульфанола);

Состав №3 (10 % органосилоксан, 5 % раствор жидкого стекла);

Состав №4 (10 % жидкое стекло, 1 % раствор сульфанола);

Состав №5 (2,5 % органосилоксан, 2,5 % жидкое стекло, 1 % раствор сульфанола).

Состав №6 (10 % органосилоксан, 30 % каолин, 5 % тальк, 30 % жидкое стекло).

Состав №7 (10 % органосилоксан, 30 % каолин, 5 % тальк, 30 % жидкое стекло, 5 % карбамид).

На основании данных, полученных в ходе предварительного эксперимента, был сделан вывод о достаточной эффективности разработанных огнезащитных составов [6,7,8], наиболее эффективным оказался состав № 3, состоящий из 10 % органосилоксана и 5 % раствора жидкого стекла.

Время достижения максимальной температуры увеличилось почти в 2 раза, максимальное приращение температуры снизилось на 25,3 %, а также отмечалось значительное уменьшение потери массы образца (-17,9 %). Такого результата удалось достигнуть за счет наличия в составе такого компонента как органосилоксан. Органосилоксаны составляют важную группу полимеров, в которых основная цепь образована атомами кислорода и кремния, поэтому их свойства практически не зависят к воздействию на них температуры [5]. Силоксаны обладают наименьшим поверхностным натяжением из всех известных рабочих жидкостей. В результате обработки поверхности полисилоксановым раствором улучшается ее термическая стабильность и адгезия, водо- и грязеотталкивающие свойства за счет уменьшения поверхностного натяжения пленок.

Описание проверки результатов проведенных исследований по критерию Кохрена приведено в работе [8], в результате рассчитанные значения t-критерия оказались больше

¹ ГОСТ 15588–2014 Плиты пенополистирольные теплоизоляционные. Технические условия. М. М. Лакокрасочные покрытия // М.: Химия - 1968.- 640 с.

критического, в связи с этим можно утверждать, что наблюдаемые различия между фиксируемыми параметрами в экспериментах с первого по седьмой по отношению к нулевому эксперименту статистически значимы.

Для оптимизации состава применялся двухфакторный эксперимент с использованием методов регрессионного анализа.

Результаты исследования горючести пенополистирола после обработки огнезащитными составами с различным содержанием органосилоксана и жидкого стекла представлены в табл. 1.

Таблица 1. Результаты двухфакторного эксперимента по определению влияния огнезащитного состава на горючесть пенополистирольной плиты марки ПСБ-С 15У

параметр	фактор	Номер эксперимента							
		1	2	3	4	5	6	7	8
содержание органосилоксана, %	X1	0	5	0	10	0	2,5	10	30
содержание жидкого стекла, %	X2	0	0	5	0	10	2,5	30	10
время достижения максимальной температуры	Y1	13.53	11.00	8.47	6.52	5.02	13.53	11.00	8.47
	Y2	24.60	20.00	15.40	11.86	9.13	24.60	20.00	15.40
	Y3	14.76	12.00	9.24	7.11	5.48	14.76	12.00	9.24
	Y4	34.44	28.00	21.56	16.60	12.78	34.44	28.00	21.56
	Y5	20.91	17.00	13.09	10.08	7.76	20.91	17.00	13.09
среднее время достижения максимальной температуры	Y _{ср}	11	20	12	28	17	21	18	23

Для определения оптимальных концентраций органосилоксана и жидкого стекла на основе экспериментальных данных, была построена математическая модель, описывающая зависимость времени достижения макси-

мальной температуры от соответствующих концентраций (таблица 2).

Данная зависимость искалась в форме полинома второй степени виде:

$$y = b_0 + b_1 * x_1 + b_2 * x_2 + b_{12} * x_1 * x_2 + b_{11} * x_1^2 + b_{22} * x_2^2$$

Таблица 2. Зависимость времени достижения максимальной температуры от соответствующих концентраций

x1 (концентрация органосилоксана, %)	x2 (концентрация жидкого стекла, %)	x1*x2	x1*x1	x2*x2	Y _{ср} (среднее время достижения максимальной температуры, с)
0	0	0	0	0	11
5	0	0	25	0	20
0	5	0	0	25	12
10	0	0	100	0	28
0	10	0	0	100	17
2,5	2,5	6,25	6,25	6,25	21
10	30	300	100	900	18
30	10	225	225	225	23

По результатам проведения регрессионного анализа была получена следующая зависимость:

$$y = 10,2 + 2,68 * x_1 + 1,19 * x_2 + 0,03 * x_1 * x_2 - 0,09 * x_1^2 - 0,06 * x_2^2$$

Для нахождения оптимума функции отклика была решена система уравнений:

$$\begin{cases} 2 * (-0,09) * x_1 + 0,03 * x_2 = -2,68 \\ 0,03 * x_1 + 2 * (-0,06) * x_2 = -1,19 \end{cases}$$

$$\begin{cases} -0,18 * x_1 + 0,03 * x_2 = -2,68 \\ 0,03 * x_1 - 0,12 * x_2 = -1,19 \end{cases}$$

В результате решения данной системы были получены следующие оптимальные значения уровней факторов:

- органосилоксан – 17 %
- жидкое стекло – 14 %.

Время достижения максимальной температуры при данных значениях факторов составило 42 секунды (рис. 1).

Результаты исследования горючести пенополистирола после обработки огнезащитными составами с различным содержанием органосилоксана и жидкого стекла представлены в табл. 3.

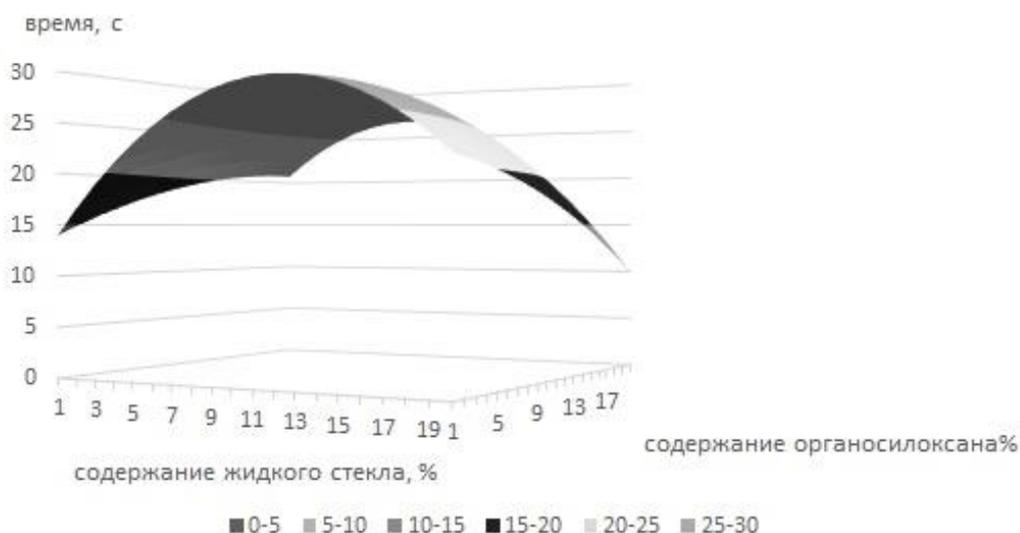


Рис. 1. Время достижения максимальной температуры пенополистирольной плиты марки ПСБ-С 15У в зависимости от процентного содержания жидкого стекла и органосилоксана в огнезащитном составе

Таблица 3. Результаты двухфакторного эксперимента по определению влияния огнезащитного состава на горючесть пенополистирольной плиты марки RAVATHERM XPS STANDARD

параметр	фактор	Номер эксперимента							
		1	2	3	4	5	6	7	8
содержание органосилоксана, %	X1	0	5	0	10	0	2,5	10	30
содержание жидкого стекла, %	X2	0	0	5	0	10	2,5	30	10
время достижения максимальной температуры	Y1	13.75	11.00	8.25	6.19	4.64	13.75	11.00	8.25
	Y2	18.75	15.00	11.25	8.44	6.33	18.75	15.00	11.25
	Y3	16.25	13.00	9.75	7.31	5.48	16.25	13.00	9.75
	Y4	27.50	22.00	16.50	12.38	9.28	27.50	22.00	16.50
	Y5	17.50	14.00	10.50	7.88	5.91	17.50	14.00	10.50
среднее время достижения максимальной температуры	Y _{ср}	11	15	13	22	14	16	15	14

Для определения оптимальных концентраций органосилоксана и жидкого стекла на основе экспериментальных данных, была построена математическая модель, описываю-

щая зависимость времени достижения максимальной температуры от соответствующих концентраций (табл. 4).

Таблица 4. Зависимость времени достижения максимальной температуры от соответствующих концентраций

x1 (концентрация органосилоксана, %)	x2 (концентрация жидкого стекла, %)	x1*x2	x1*x1	x2*x2	Y _{ср} (среднее время достижения максимальной температуры, с)
0	0	0	0	0	11
5	0	0	25	0	15
0	5	0	0	25	13
10	0	0	100	0	22
0	10	0	0	100	14
2,5	2,5	6,25	6,25	6,25	16
10	30	300	100	900	15
30	10	225	225	225	14

Данная зависимость искалась в форме полинома второй степени виде:

$$y = b_0 + b_1 * x_1 + b_2 * x_2 + b_{12} * x_1 * x_2 + b_{11} * x_1^2 + b_{22} * x_2^2$$

По результатам проведения регрессионного анализа была получена следующая зависимость:

$$y = 10,6 + 1,46 * x_1 + 0,54 * x_2 - 0,02 * x_1 * x_2 - 0,04 * x_1^2 - 0,02 * x_2^2$$

Для нахождения оптимума функции отклика была решена система уравнений:

$$\begin{cases} 2 * (-0,04) * x_1 - 0,02 * x_2 = -1,46 \\ -0,02 * x_1 + 2 * (-0,02) * x_2 = -0,54 \end{cases}$$

$$\begin{cases} -0,08 * x_1 - 0,02 * x_2 = -1,46 \\ -0,02 * x_1 - 0,04 * x_2 = -1,08 \end{cases}$$

В результате решения данной системы были получены следующие оптимальные значения уровней факторов:

- органосилоксан – 17 %
- жидкое стекло – 5 %.

Время достижения максимальной температуры при данных значениях факторов составило 24 секунды (рис. 2).

Таким образом по результатам обработки данных, полученных в ходе двухфакторного эксперимента, направленного на определение оптимальной концентрации огнезащит-

ного состава, применение которого положительно сказывается на уменьшении времени горения пенополистирольной плиты, можно сформулировать следующие выводы. Наибольшая эффективность достигается путем применения огнезащитного состава, со следующим процентным содержанием веществ: органосилоксан – 17 %, жидкое стекло – от 5 до 14 %. Более подробно результаты двухфакторного эксперимента приведены в табл. 5.

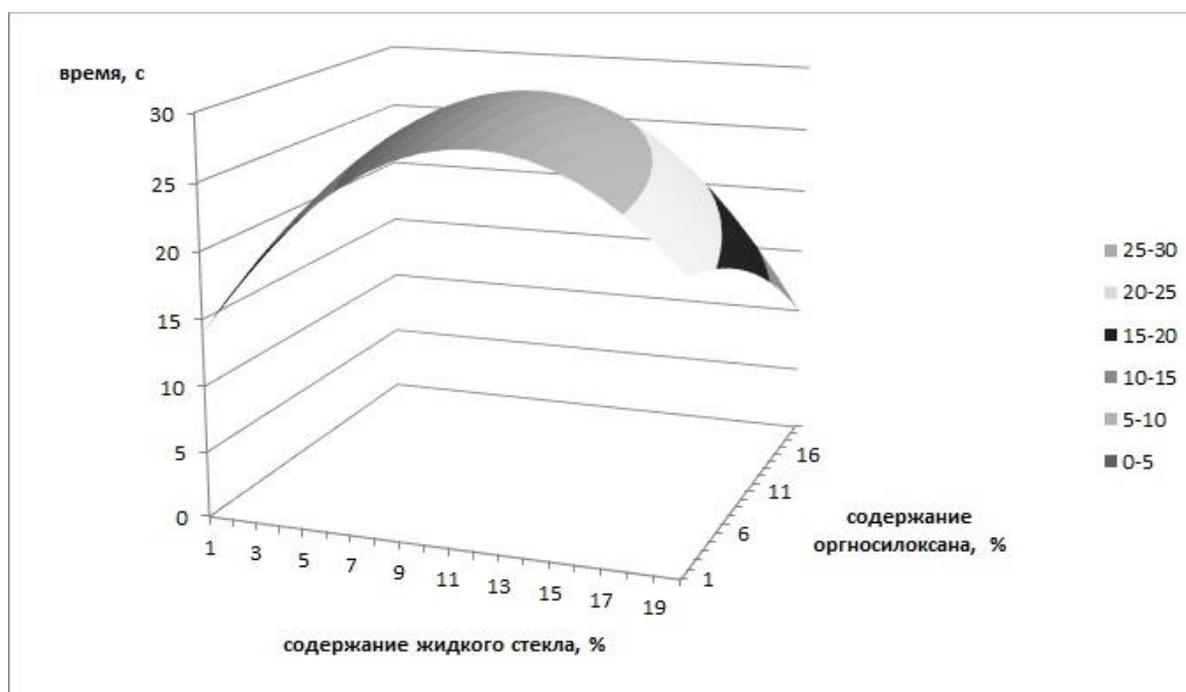


Рис. 2 Время достижения максимальной температуры пенополистирольной плиты марки RAVATHERM XPS STANDARD в зависимости от процентного содержания жидкого стекла и органосилоксана в огнезащитном составе

Таблица 5. Сводная таблица результатов двухфакторного эксперимента

Параметр	Компоненты огнезащитного состава		Эффект от применения состава (время, с)
	органосилоксан	жидкое стекло	
горючесть	17 %	14 %.	42
	17 %	5 %	24

Результаты исследования, представляющего собой двухфакторный эксперимент, и направленные на подбор оптимальной концентрации огнезащитного состава пенополистирольных плит на основе органосилоксанов и жидкого стекла, применение которого положительно скажется на уменьшении времени са-

мостоятельного горения пенополистирольной плиты, показали, что наибольшая эффективность достигается путем применения огнезащитного состава, со следующим процентным содержанием веществ: органосилоксан – 17 %, жидкое стекло – 5-14 %.

Список литературы

1. Акулова М. В., Мочалов А. М., Лебедев Д. В., Родионов Е. Г. О безопасности самозатухающего пенополистирола // Современные пожаробезопасные материалы и технологии: Сборник материалов Международной научно-практической конференции, Иваново 20-21 сентября 2017 года. Иваново: ФГБОУ ВО Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, 2017. С. 9–12.

2. Свойства пенопласта [Электронный ресурс]. URL: <http://stkpenoplast.ru/> Polysty-

rene/Properties.html/ (дата обращения 11.03.2021). [Properties of foam].

3. Серков Б. Б., Фирсова Т. Ф. Здания и сооружения: учебник. М.: Курс, ИНФРА-М, 2019. 168 с.

4. Guidelines for the use of expanded foam polystyrene panel systems in industrial buildings so as to minimise the risk of fire (Fire Engineering Research Report 06/1/2006, Department of Civil Engineering, University of Canterbury, Private Bag 4800 Christchurch, New Zealand).

5. Воронков М. Г., Милешкевич В. П., Южелевский В. А. Силоксановая связь. Новосибир., 1976, 413 с.

6. Акулова М. В., Мочалов А. М. О результатах исследования влияния огнезащитных составов на основе органосилоксанов на воспламеняемость пенополистирола // Современные проблемы гражданской защиты. Вып. 2 (31). 2019. С. 48–55.

7. Акулова М. В., Мочалов А. М., Набойщикова Н. А. О результатах исследования влияния огнезащитных составов на горючесть пенополистирола // Современные пожаробезопасные материалы и технологии: Сборник материалов Международной научно-практической конференции. Иваново: ФГБОУ ВО Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, 2019. С. 20–24.

8. Mochalov A. M., Akulova M. V., Sokolova J. A. and Sokolova A. G. New flame-retardant composition for lowering contribution of expanded poly styrene to the propagation of fire // XXXIX RSP «Seminar Theoretical Basics of Construction», Wrocław, Poland, 2020.

References

1. Akulova M. V., Mochalov A.M., Lebedev D. V., Rodionov E. G. O bezopasnosti samozatukhayushchego penopolistirola [On the safety of self-extinguishing Styrofoam]. *Sovremennyye pozharobezopasnyye materialy i tekhnologii: Sbornik materialov Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, Ivanovo 20-21 sentyabrya 2017 goda*. Ivanovo: FGBOU VO Ivanovskaya pozharno-spatatel'naya akademiya GPS MCHS Rossii, 2017, pp. 9–12.

2. *Svoystva penoplasta* [Properties of foam] [Electronic resource]. URL: <http://stkpenoplast.ru/Polystyrene/Properties.html/> (accessed 11.03.2021).

3. Serkov B. B., Firsova T. F. *Zdaniya i sooruzheniya: Uchebnik* [Buildings and structures: Textbook]. Moscow: Kurc, INFRA-M, 2019. 168 p.

4. Guidelines for the use of expanded foam polystyrene panel systems in industrial buildings so as to minimise the risk of fire (Fire Engineering Research Report 06/1/2006, Department of Civil Engineering, University of Canterbury, Private Bag 4800 Christchurch, New Zealand).

5. Voronkov M. G., Meleshkevich V. P., Uzilevsky V. A. Siloksanovaya svyaz' [The Siloxane bond] Novosib., 1976, P. 413

6. Akulova M. V., Mochalov A. M. O rezul'tatakh issledovaniya vliyaniya ognezashchitnykh sostavov na osnove organosiloksanov na vosplamenyayemost' penopolistirola [On the results of the study of the effect of flame retardants based on organosiloxanes on the flammability of expanded polystyrene]. *Sovremennyye problemy grazhdanskoy zashchity*, Issue 2 (31), 2019, pp. 48–55.

7. Akulova M. V., Mochalov A.M., Naboishchikova N. A. O rezul'tatakh issledovaniya vliyaniya ognezashchitnykh sostavov na goryuchest' penopolistirola [About the results of the study of the influence of fire-retardant compounds on the combustibility of expanded polystyrene]. *Sbornik materialov Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konfe-rentsii «Sovremennyye pozharobezopasnyye materialy i tekhnologii»*. Ivanovo: FGBOU VO «Ivanovskaya pozharno-spatatel'naya akademiya GPS MCHS Rossii», 2019, pp. 20–24.

8. Mochalov A. M., Akulova M. V., Sokolova J. A. and Sokolova A. G. New flame-retardant composition for lowering contribution of expanded poly styrene to the propagation of fire // XXXIX RSP «Seminar Theoretical Basics of Construction», Wrocław, Poland, 2020.

Акулова Марина Владимировна

Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,
Российская Федерация, г. Иваново
профессор, доктор технических наук
E-mail: m_akulova@mail.ru

Akulova Marina Vladimirovna

Federal State Budget Educational Establishment of Higher Education «Ivanovo Fire Rescue Academy of State Firefighting Service of Ministry of Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters»,
Russian Federation, Ivanovo
Professor
E-mail: m_akulova@mail.ru

Мочалов Антон Михайлович

Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,
Российская Федерация, г. Иваново
старший преподаватель
E-mail: anton.mochalov.93@mail.ru

Mochalov Anton Mikhailovich

Federal State Budget Educational Establishment of Higher Education «Ivanovo Fire Rescue Academy of State Firefighting Service of Ministry of Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters»,
Russian Federation, Ivanovo
Senior Lecturer
E-mail: anton.mochalov.93@mail.ru

Пуганов Михаил Владимирович

Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,
Российская Федерация, г. Иваново
старший преподаватель
E-mail: mvpuganov@yandex.ru

Puganov Mikhail Vladimirovich

Federal State Budget Educational Establishment of Higher Education «Ivanovo Fire Rescue Academy of State Firefighting Service of Ministry of Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters»,
Russian Federation, Ivanovo
Senior Lecturer
E-mail: mvpuganov@yandex.ru

УДК 614.8.084

ОЦЕНКА СТЕПЕНИ ПОВРЕЖДЕНИЯ БЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ В РЕЗУЛЬТАТЕ ТЕПЛООВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ

Д. В. ФЛЕГОНТОВ, М. В. АКУЛОВА, М. В. ПУГАНОВ

Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,
Российская Федерация, г. Иваново
E-mail: den.flegontov@yandex.ru

В статье рассмотрены современные подходы к установлению очага пожара, которые в настоящее время достаточно неоднозначны и выбор того или иного метода осуществляется непосредственно специалистом. Рассмотрены проблемы обнаружения повреждений конструкций от скрытых очагов пожара. Проанализированы методологии их обнаружения. Выявлена и обоснована необходимость разработки комплексной методики, которая применима для установления очага латентного пожара, а также применима для оценки возможности дальнейшего использования строительной конструкции. Целью данной работы является применение методики синхронного термического анализа для идентификации очага скрытого пожара в бетонных композитах и определения мест наиболее поврежденных конструктивных элементов строительной конструкции. В работе проводится сравнительный анализ структурных изменений в бетонах, заранее подверженных термическому воздействию в муфельной печи. Установлены параметры температурного воздействия на бетон, что приводит к установлению очага скрытого пожара. Своевременное и правильное установление причины пожара дает возможность установить степень ответственности лиц, виновных в возникновении пожара, помочь в разработке и в проведении мероприятий по предупреждению возможного обрушения здания. Полученные результаты синхронного термического анализа бетона после термического воздействия рекомендуются для оценки возможности дальнейшего применения строительных конструкций.

Ключевые слова: методология, повреждения конструкций, скрытый пожар, термогравиметрия.

ASSESSMENT OF DAMAGE TO CONCRETE STRUCTURES AS A RESULT OF HEAT EXPOSURE

D. V. FLEGONTOV, M. V. AKULOVA, M. V. PUGANOV

Federal State Budget Educational Establishment of Higher Education
«Ivanovo Fire Rescue Academy of State Firefighting Service of Ministry of Russian Federation
for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters»,
Russian Federation, Ivanovo
E-mail: syrbue@yandex.ru, salina_77@mail.ru

The article considers modern approaches to the establishment of a fire, which are now quite ambiguous and the choice of a method is carried out directly by a specialist. The problems of detecting damage to structures from hidden fire hotspots have been analyzed.

The main purpose of this work is to use the technique of synchronous thermal analysis to identify the hotbed of hidden fire in concrete composites and to determine the locations of the most damaged structural elements of the construction structure. Timely and correct identification of the cause of the fire makes it possible to establish the degree of responsibility of those responsible for the fire, to assist in the development and implementation of measures to prevent the possible collapse of the building. The results of synchronous thermal analysis of concrete after thermal exposure are recommended to assess the possibility of further use of construction structures.

Key words: methodology, damaged structures, hidden fire, thermogravimetry

Пожар часто приводит к гибели людей и причинению значительного материального ущерба. Пожар характеризуется воздействием высоких температур на железобетонные конструкции. Продолжительность и интенсивность воздействия пожара в каждом случае индивидуальна и зависит, прежде всего, от количества и качества пожарной нагрузки.

Кроме обычных пожаров, существуют и скрытые (латентные) пожары. Уровень латентных пожаров во всем мире, по подсчетам разных авторов и научных коллективов, колеблется в пределах 7–8 млн., достигая, по некоторым данным 20–23 млн. сокрытий в год [2]. Скрытые пожары опасны тем, что, как правило, тушение пожаров проводится сотрудниками организации без участия должностных лиц МЧС России, что не позволяет оценить степень повреждения объекта. Часто здания и сооружения, в которых можно скрыть пожар за счет ремонтно-восстановительных работ, изготавливаются из бетона и материалов на его основе. Отсутствие оценки степени повреждения здания может привести к необратимым последствиям - разрушению строительных конструкций при нахождении в нем людей и их гибели [2].

Как правило, задача установления причины латентного пожара относится к категории особо сложных. При латентных пожарах основные следы, указывающие на причины их возникновения, обычно скрываются отделочными материалами, в связи с чем причина возникновения пожара устанавливается далеко не во всех случаях.

В настоящее время используются различные методики установления очага пожара, такие как ультразвуковая дефектоскопия, ударно-акустический метод, определение магнитной восприимчивости материала, рентгеноструктурный анализ, инфракрасная спектроскопия, различные методы термического анализа [3]. Однако не все они применимы для определения степени термического повреждения бетонной конструкции после проведения ремонтно-реставрационных работ.

Для экспертного исследования изделий из бетонов, подвергшихся температурному воздействию (после пожара), применяются различные высокоинформативные и доступные методы. В практической же деятельности при исследовании латентных пожаров экспертами используется несистемный набор методов, выбранных по своему усмотрению, что приводит к неоднозначности экспертных выводов.

Методы лабораторных исследований трудоемки, требуют отбора проб на месте пожара, но, с другой стороны, позволяют исследовать практически все материалы,

изготовленные безобжиговым методом, как на основе цемента и извести, так и гипса.

Для исследования могут быть взяты образцы бетона и железобетона, как изготовленные на заводе, так и изготовленные методом заливки в опалубку непосредственно на месте; образцы стены из бетонных блоков с различными заполнениями; образцы силикатного кирпича и гипса. Если стена выполнена из красного кирпича для исследования берут образцы цементного камня в кладочном растворе, скрепляющем кирпичи. Для отслеживания зон термического повреждения предпочтительнее одновременный отбор проб. Для образцов берут пробы очищенного поверхностного слоя (не глубже 3-5 мм). Масса отбираемого образца должна составлять 1–10 г (в зависимости от последующего метода анализа). Образцы необходимо отбирать на наиболее поврежденных участках, в том числе по периферии зон отрыва защитного слоя бетона, где невозможно провести ультразвуковые исследования. В лаборатории образцы измельчаются, сушатся и исследуются [1,4].

С помощью термоаналитических методов исследуются химические реакции, фазовые и другие физико-химические превращения, которые происходят под действием тепла в химических соединениях или (в случае многокомпонентных систем) между отдельными соединениями. Тепловые процессы, будь то химические реакции, изменение состояния или фазовый переход, всегда сопровождаются более или менее значительным изменением внутреннего теплосодержания системы. Преобразование включает либо поглощение тепла - эндотермическое преобразование, либо выделение тепла — экзотермическое преобразование. Эти тепловые эффекты можно зарегистрировать с помощью методов термического анализа.

Сфера применения термического анализа — это оценка возможности потери прочности отдельных материалов, для которых такая возможность не очевидна при обычном пожаре, что дает возможность установить местоположение пожарной нагрузки. Расчет пожарной нагрузки дает возможность установить температуру на очаге пожара, месте пожара.

В отличие от многих других аналитических методов, синхронный термический анализ (СТА) проще в использовании и обеспечивает более быстрые результаты.

Целью данного исследования являлась разработка комплексной методики эффективного определения зон температурного воздействия на строительные бетонные композиции, включающую комбинированное ис-

пользование ультразвуковых методов исследования и изучение структуры и свойств строительных материалов.

На схеме приведен предполагаемый алгоритм действия по установлению места наибольшего температурного воздействия.

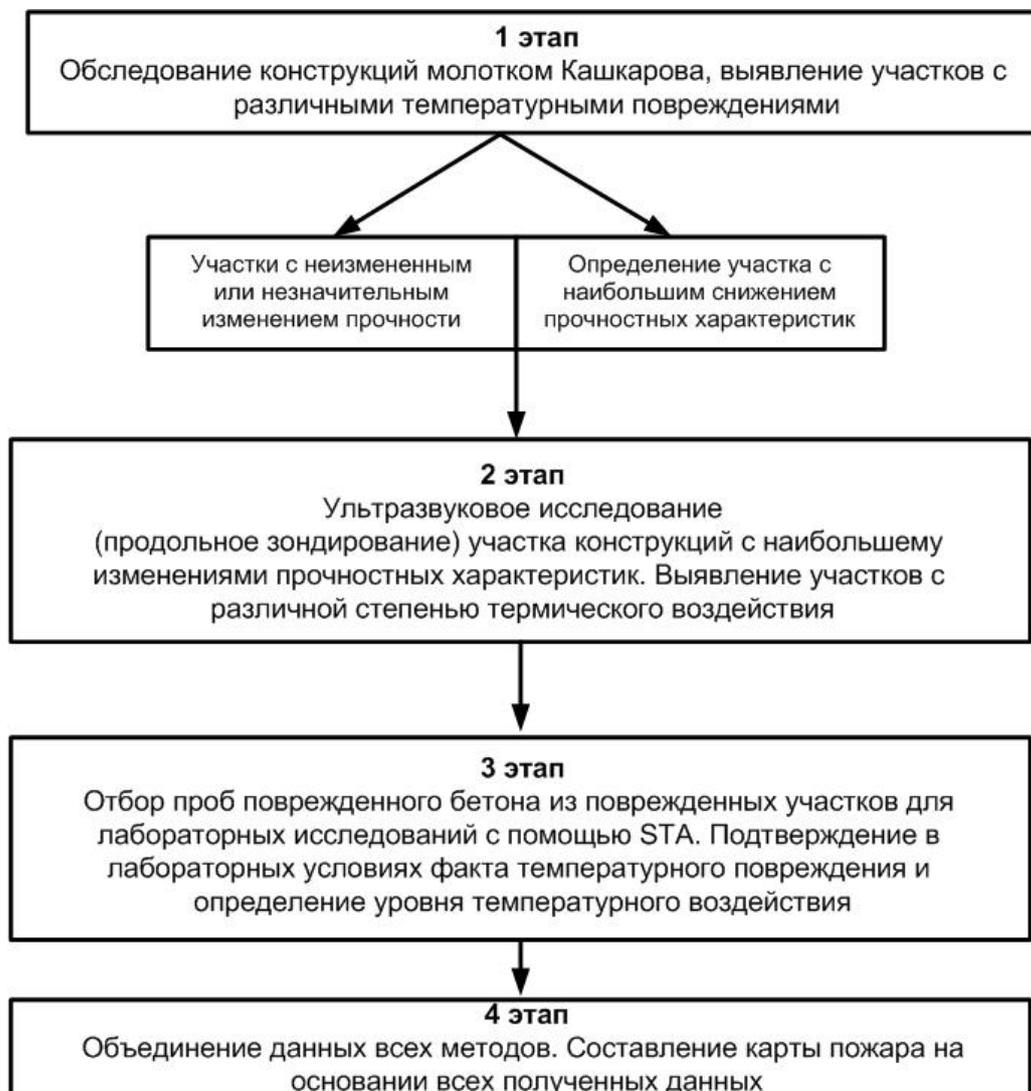


Схема предполагаемого алгоритма действия по установлению места наибольшего температурного воздействия

В рамках разработки методики для первичного определения поврежденной конструкции из бетона классов В15 и В25 был использован склерометр Condrol Beton Pro. При измерении прочности бетонного образца с помощью склерометра на экране прибора появляется значение прочностных характеристик исследуемого образца. Метод основан на наличии взаимосвязи между прочностью бето-

на и значением косвенного показателя, который представляет собой отношение диаметров углублений, оставленные на бетоне прибором и опорной панели при ударе. Зависимость изменения соотношения H_3/H_0 (прочности бетона от эталонного показателя) от температуры нагрева бетона класса В15 и В25 показана на рис. 1 и 2 соответственно.

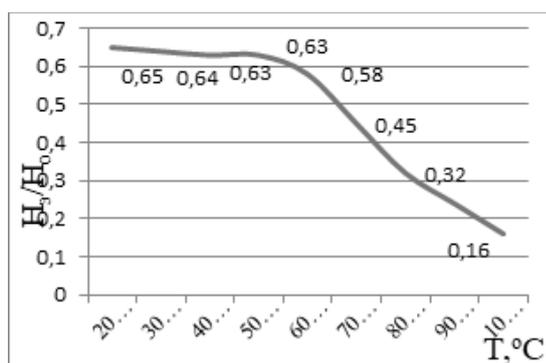


Рис. 1. Зависимость изменения соотношения N_z/N_0 от температуры нагрева бетона класса В 15



Рис. 2. Зависимость изменения соотношения N_z/N_0 от температуры нагрева бетона класса В 25

Из графиков на рис. 1 и 2 видно, что с увеличением степени теплового воздействия на образец предел прочности бетона при сжатии снижается. На начальном этапе при температуре 200–500°C изменения незначительны, при увеличении степени теплового воздействия до температур 500–700°C наблюдается значительное снижение прочности бетона, которое может привести к его разрушению.

В целом, использование склерометра для определения степени термического повреждения бетона аналогично его промышленному использованию для определения прочности бетона. В таблице 1 представлены результаты исследования предела прочности бетона при сжатии с использованием склерометра Condrol Beton Pro [5].

Таблица 1. Определение изменения предела прочности при сжатии бетона при нагреве с помощью склерометра

Температура нагрева, °C	Показания склерометра, кН	
	Класс бетона	
	В15	В25
20°C	26,80	23,44
500°C	18,46	19,34
900°C	3,54	3,90

Из данных табл. 1 можно сделать вывод, что при температуре теплового воздействия более 500° С наблюдается значительная потеря прочности бетона. Следовательно, использование склерометра в областях термического повреждения с температурой воздействия выше 500°C применимо только для более точного определения площади наиболее поврежденного участка бетонной или железобетонной конструкции.

Предел прочности при сжатии образцов бетона классов В15 и В25 после нагрева в лабораторных условиях, исследовали на гидравлическом прессе. Испытания при сжатии

проводились по ГОСТ 10180 и ГОСТ 18105-2010. Полученные данные представлены в табл. 2.

Как видно из табл. 2, образцы бетона, подвергшиеся тепловому воздействию, имеют внешние признаки повреждений, а также значительно теряют в весе. При нагреве до 500°C потеря прочности составляет около 20 % как у бетона более высокого класса, так и у бетона низкого класса В 15. При нагреве в течение 1 часа при температуре 900°C потеря прочности составляет более 90 %, однако у бетонов класса В 25 остаточная прочность в 3 раза больше, чем у бетона класса В 15.

Таблица 2. Предел прочности при сжатии бетона после нагрева

Наименование	Температура нагрева			
	500°C		900°C	
	Класс бетона			
	В 15	В 25	В15	В25
Масса образца до нагрева(кг)	7,59	7,58	7,51	7,53
Масса образца после нагрева (кг)	7,35	7,22	7,12	7,17
Нагрузка разрушения до нагрева (кН)	239	360	239	360
Нагрузка разрушения после нагрева (кН)	202	258	10	31
Внешние изменения	Розоватый оттенок на поверхности	Белый оттенок внутри образца после разрушения	Значительное изменение структуры бетона, разделение на частицы образца	Значительное изменение структуры бетона, разделение на частицы образца

Одним из важных факторов, вызывающих потерю прочностных свойств бетона, является выделение из образца химически связанной влаги, что связано с изменением его массы.

Тестирование материалов с помощью STA позволяет определить их структуру и химический состав. Оценка термической и химической устойчивости, динамики процессов разложения позволяет как прогнозировать поведение различных конструкций при пожаре, так и определять зоны пожара или места воздействия основного теплового потока.

В качестве примера использования методики рассмотрим исследование бетонов на приборе SDT-Q600 в термогравиметрической зависимости в рамках синхронного термического анализа (ТГ), в котором фиксируется изменение массы образца в зависимости от температуры или времени. при нагревании в заданной среде с контролируемой скоростью.

Исследование образцов бетона, подвергнутых термическому воздействию методом термического анализа, проводилось в следующих условиях: на воздухе в диапазоне температур 30–1000°C со скоростью повышения температуры 5–20°C / мин, линейная скорость продувочного газа составляла 100 см³/мин, количество проводимых параллельных испытаний от трех до пяти в зависимости от специфики исследуемого объекта. На рис. 3, 4 представлены термограммы контрольных образцов бетона классов В15 и В25, а на рис. 5–7 показаны термограммы тех же бетонов, но после предварительного нагрева до высокой температуры. Температурный диапазон от комнатной до 1000°C.

Известно [9], что бетонный камень содержит в себе физически связанную воду в порах, которая при нагреве от 100 до 200°C испаряется, при этом происходит снижение веса образца (зоны 1 и 2). В интервале температур 200–400°C происходит выгорание органических примесей и добавок что приводит к постепенному снижению веса цементного камня (бетона) (3 зона).

В четвертой зоне, которая начинается при 410°C, происходит дегидратация гидроксида кальция Ca(OH)₂ и разложение низкоосновных силикатов кальция, при этом выделяется вода, входящая в структуру цементного камня, происходит резкое снижение веса и прочности бетона. В пятой зоне при температуре 500–600°C происходит разложение трехкальциевого силиката, что способствует дальнейшему снижению веса и прочности цементного камня. В шестой зоне при температуре 650–700°C начинается разложение высокоосновных силикатов кальция, резко снижается вес и прочность бетона. По количественному снижению веса в каждой зоне можно судить о массе удаленной воды, а значит и о степени разложения цементного камня.

Если бетонный камень предварительно уже побывал в зоне высоких температур, то термограммы покажут меньшую потерю веса и меньшее удаление кристаллической воды. Малое содержание воды в бетоне показывает на распад структуры цементного камня, потерю прочности бетона и косвенно указывает на очаг скрытого пожара.

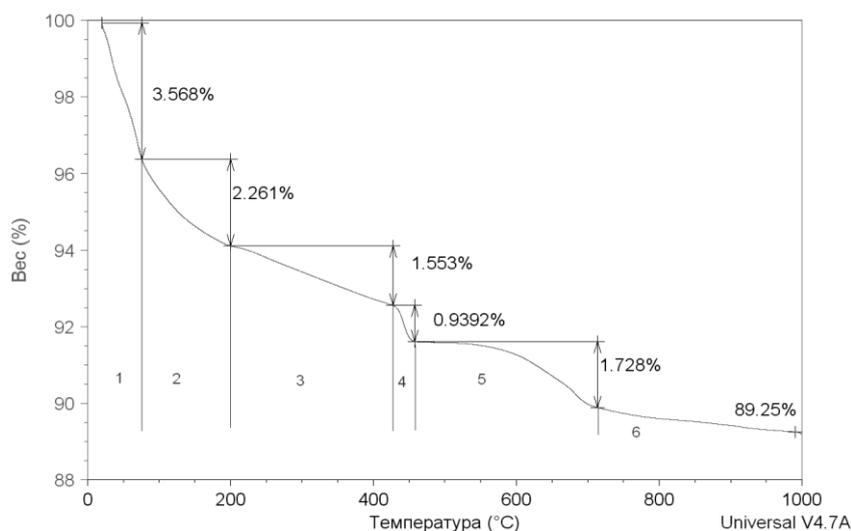


Рис. 3. Термограмма бетона В15: цифрами обозначены зоны нагрева

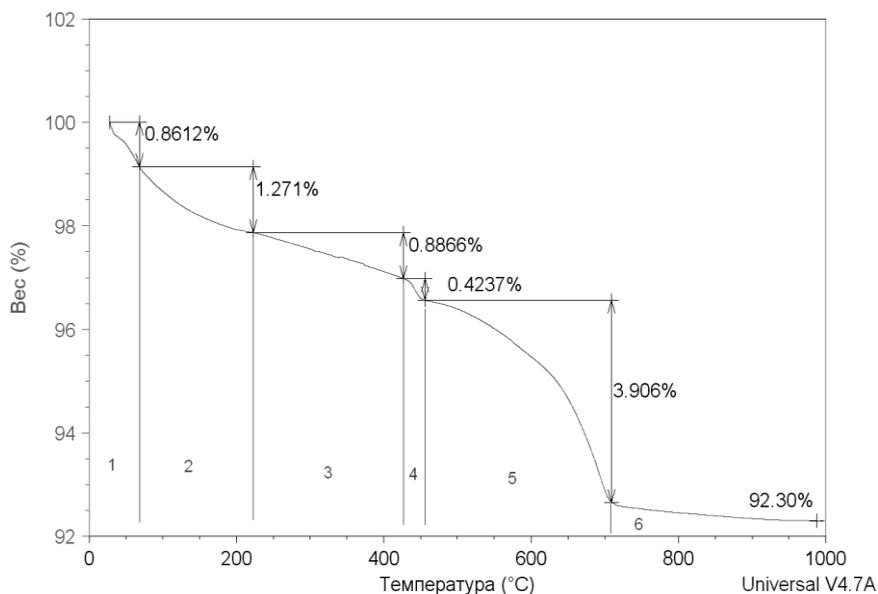


Рис. 4. Термограмма бетона В25: цифрами обозначены зоны нагрева

Термограммы контрольных образцов бетона классов В15 и В25 похожи, но бетон более низкого класса показывает повышенное содержание воды в порах, что указывает на его большую пористость. Высококачественный бетон показывает повышенное содержание кристаллической воды, что указывает на высокое содержание кристаллогидратов, ответственных за прочность цементного камня.

Для получения сравнительных результатов образцы бетона нагревали в муфельной печи при различных температурах (200, 300, 400, 500, 600, 700, 800 и 1000°C) в течение 30 минут. Затем исследовали на термографе. Термограммы образцов бетона классов В15 и

В25, которые предварительно подвергались высокотемпературному воздействию, показывают существенное отличие от термограмм контрольных образцов [3].

На рис. 5 показаны термограммы бетона класса В15, предварительно нагретого в течение 30 мин при температурах 200, 300, 400, 500, 600, 700, 800 и 1000°C. Как видно из приведенных данных образцы, предварительно нагретые до 1000° С в течение 30 минут, показывают меньшую потерю веса (около 1 %). Наибольшая потеря веса наблюдалась у образцов, предварительно нагретых при температуре 300°С в течение 30 минут.

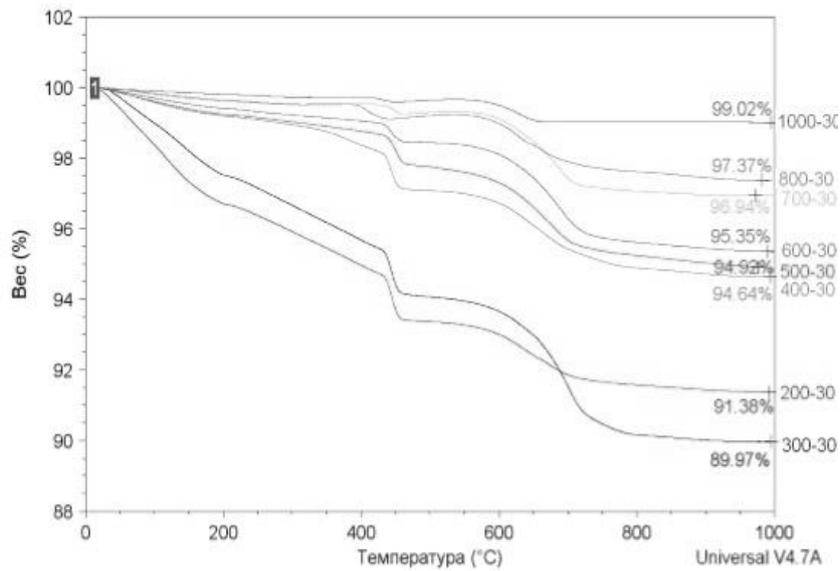


Рис. 5. Термограммы бетона В15, предварительно нагретого в течение 30 мин при температурах 200, 300, 400, 500, 600, 700, 800 и 1000°С

Аналогичную картину показывают термограммы образцов бетона класса В25, подвергнутых такому же предварительному нагреву, но у них потеря массы в результате нагрева меньше, и термограммы более интенсивны, что указывает на присутствие высокоосновных кристаллогидратов, которые разлагаются при температурах выше 600 °С. Таким образом сравнивая результаты исследования методом термогравиметрии, можно определить зависимость изменения массы бетона от температу-

ры предварительного нагрева, а это значит, что этот метод может быть использован для обнаружения скрытых очагов пожара и их интенсивности.

Для подтверждения метода образцы бетона В15 и В25 были предварительно нагреты в муфельной печи при 600°С в течение 15, 30 и 60 минут, а затем исследованы с помощью термогравиметрического анализа (рисунки 6,7).

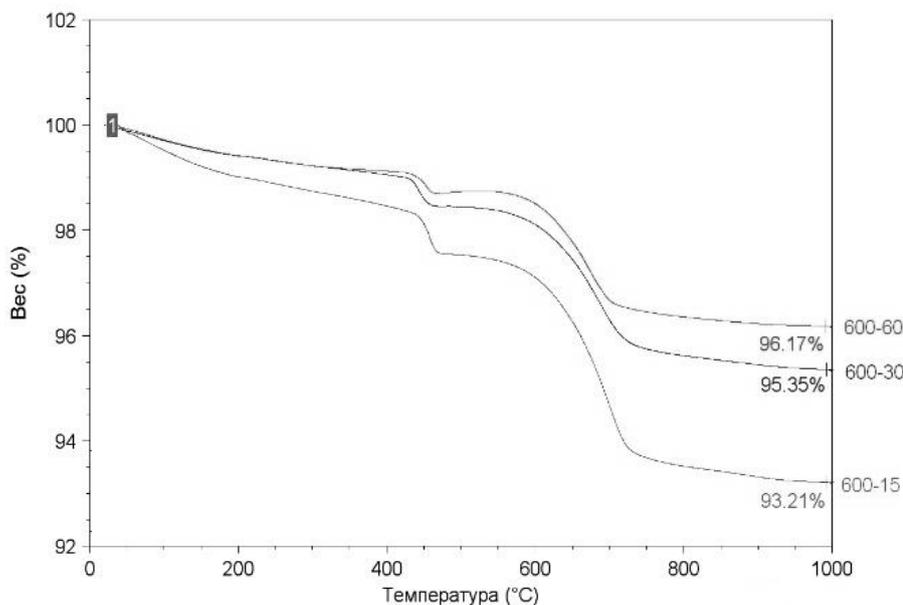


Рис. 6. Термограммы бетона В15, предварительно нагретого при 600°С в течение 15, 30 и 60 мин

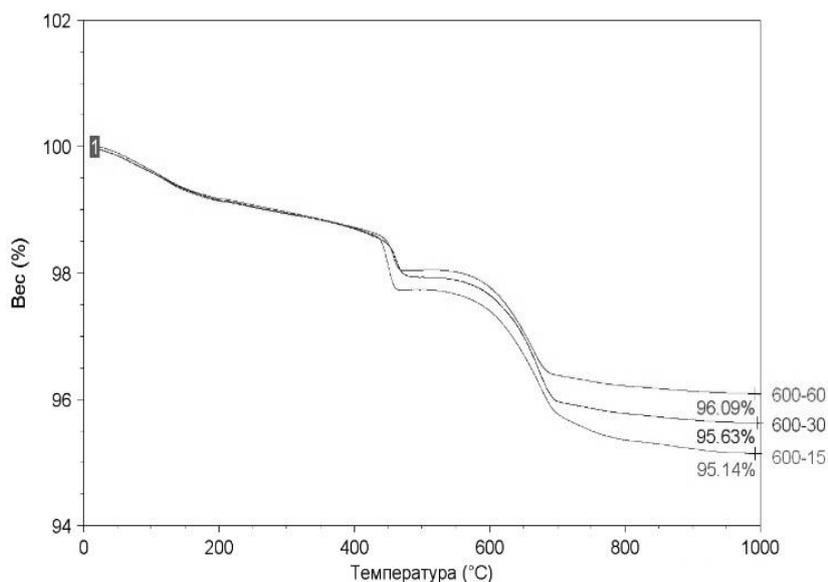


Рис. 7. Термограмма образцов бетонов В25, предварительно нагретых при 600°C в течение 15, 30 и 60 мин

Как видно из предоставленных данных, везде наблюдается изменение потери массы бетона в зависимости от времени нагрева при высоких температурах. Чем больше время предварительного нагрева, тем меньше изменение массы на термограммах. Таким образом, с помощью термогравиметрического метода можно определить не только интенсивность прошедшего пожара, но и его продолжительность.

При пожаре в сборных железобетонных зданиях и сооружениях преобладает односторонний обогрев конструкций: плит и панелей стен, полов и облицовки. В результате кратковременного (до 1,5–2 часов) высокотемпературного нагрева (до 700–800°C) в бетоне происходят необратимые структурные изменения, которые приводят к снижению или даже полной потере прочности. структур.

В настоящее время обнаружение скрытых возгораний остается актуальной и до конца не решенной задачей. Наличие многочисленных и разнообразных методов определения местоположения очага пожара не решает этой проблемы, поскольку не все из них применимы после ремонтно-восстановительных работ и имеют ряд ограничений.

В этой связи перспективным представляется создание комплексной методики, предусматривающей последовательное применение существующих методик с учетом их преимуществ, что позволило бы получить объективные и достоверные данные о состоянии бетонных конструкций, подверженных термическому повреждению.

Полученные в работе результаты позволяют сделать вывод о наличии и характере изменений физических и структурных характеристик бетона при разных степенях нагрева, зафиксированных разными методами. Данные различных методов исследования указывают на ухудшение прочностных характеристик бетонных образцов, более выраженное у образцов, нагретых до температуры до 900°C. В соответствии с целью исследования уточнена информативность различных методов с точки зрения возможности установления последствий температурного воздействия, а также значения отдельных показателей прочности бетона, отражающие интенсивность температурного воздействия.

Термический анализ имеет ряд преимуществ перед другими методами исследования: гибкость в проведении эксперимента, одновременное получение различных характеристик материала, быстрый поиск информации, возможность автоматизации обработки данных и использование небольшого количества вещества. Использование синхронного термического анализа, помимо определения степени теплового воздействия, позволяет определить: соотношение компонентов системы, их разложение, наличие тугоплавких веществ, соотношение диоксида кремния, остаточную массу образца в зависимости от времени и температуры прогрева, в конечном счете, влияющих на свойства строительных материалов [6,7,8].

Полученные данные о прочности материала говорят о степени изменения физических свойств бетона. Они наносятся на предлагаемое место очага пожара, что позволяет определить температурные зоны пожара или преобладающее направление теплового потока.

Анализируя полученные термограммы, можно определить структурные особенности

бетона, которые помогут определить наиболее поврежденные точки, время термического воздействия и степень повреждения конструкций, что, в свою очередь, дает возможность определить место возникновения пожара и, как следствие, возможность дальнейшей эксплуатации поврежденной конструкции.

Список литературы

1. Чешко И. Д. Экспертиза пожаров (объекты, методы, методики исследования). Санкт-Петербургский институт пожарной безопасности. МВД РФ. Санкт-Петербург, 1997. 562 с.
2. Иншаков С. М., Корсантия А. А., Максименко И. В. Теоретические основы исследования и анализа латентной преступности: монография. М.: ЮНИТИ-ДАНА. 2015. С. 231, 384, 478.
3. Плотникова Г. В., Дашко Л. В., Ключников В. Ю., Синюк В. Д. Применение методов термического анализа при исследовании цементного камня // Вестник Восточно-Сибирского института МВД России. 2013. № 2(65). С. 47–55.
4. Мокряк А. Ю., Тверьянович З. И., Чешко И. Д., Соколова А. Н. Металлографический и морфологический атлас микроструктур объектов, изымаемых с мест пожаров. М. ВНИИПО, 2008. 184 с.
5. Дашко Л. В., Ключников В. Ю. Экспертное исследование наиболее распространенных объектов пожарно-технической экспертизы с применением метода термического анализа: учебное пособие. М.: ЭКЦ МВД России, 2016. 128 с.
6. Лунеев В. В. Курс мировой и российской криминологии: учебник для магистров. М.: Юрайт, Т.1. 2012. 386 с.
7. Davie C.T., Zhang H.L., Gibson A. Investigation of a continuum damage model as an indicator for the prediction of spalling in fire exposed concrete *Comput Struct*, 94–95 (3) (2012), pp. 54–69.
8. Duc Toan Pham, Patrick de Buhan, Céline Florence, Jean-Vivien Heck, Hong Hai Nguyen // Interaction diagrams of reinforced concrete sections in fire: A yield design approach // *Engineering Structures*, Volume 90, 1 May 2015, pp. 38–47.
9. Федосов С. В., Акулова М. В., Щепочкина Ю. А. Дериватографический анализ физико-химических превращений в бетоне при его глазурировании // *Известия Вузов. Химия и химическая технология*, 2003. Т. 46, вып. 8. С. 21–24.

References

1. Cheshko I. D. *Ekspertiza pozharov (ob"yekty, metody, metodiki issledovaniya)* [Expertise of fires (objects, methods, research methods)]. St. Petersburg Institute of Fire Safety. Ministry of Internal Affairs of the Russian Federation. St. Petersburg. 1997. 562 p.
2. Inshakov S. M., Korsantiya A. A., Maksimenko I. V. *Teoreticheskiye osnovy issledovaniya i analiza latentnoy prestupnosti: monografiya* [Theoretical foundations of research and analysis of latent crime: monograph]. M., UNITY-DANA. 2015. pp. 231, 384, 478.
3. Plotnikova G.V., Dashko L.V., Klyuchnikov V.Yu., Sinyuk V.D. *Primeneniye metodov termicheskogo analiza pri issledovanii tsementnogo kamnya* [Application of thermal analysis methods in the study of cement stone] *Vestnik Vostochno-Sibirskogo instituta MVD Rossii*, 2013, vol. 2 (65), pp. 47–55.
4. Mokryak A.Yu., Tveryanovich Z. I., Cheshko I. D., Sokolova A. N. *Metallograficheskiy i morfologicheskiy atlas mikrostruktur ob"yektov, izymayemykh s mest pozharov* [Metallographic and morphological atlas of microstructures of objects removed from fire sites]. M. VNIPO, 2008. 184 p.
5. Dashko L. V., Klyuchnikov V. Yu. *Ekspertnoye issledovaniye naiboleye rasprostranennykh ob"yektov pozharo-tekhnicheskoy ekspertizy s primeneniyyem metoda termicheskogo analiza: uchebnoye posobiye* [Expert study of the most common objects of fire-technical expertise using the method of thermal analysis]. Chapter No. 1 of the textbook (on topic No. 2.18 of the Research Plan-2016) EKTs MIA of Russia. 128 p.
6. Luneev V. V. *Kurs mirovoy i rossiyskoy kriminologii: uchebnik dlya magistrov* [Course of world and Russian criminology: a textbook for masters]. M., 2012. T.1. P. 386.
7. Davie C. T., Zhang H. L., Gibson A. Investigation of a continuum damage model as an indicator for the prediction of spalling in fire exposed concrete. *Comput Struct*, № 3. 2012, pp. 54–69.
8. Duc Toan Pham, Patrick de Buhan, Céline Florence, Jean-Vivien Heck, Hong Hai

Nguyen Interaction diagrams of reinforced concrete sections in fire: A yield design approach. *Engineering Structures*, Volume 90, 2015, pp. 38–47.

9. Fedosov S. V., Akulova M. V., Shchepochkina Yu. A. Derivatograficheskiy analiz

fiziko-khimicheskikh prevrashcheniy v betone pri yego glazurovanii [Derivatographic analysis of physical and chemical transformations in concrete at his glazing]. *Izvestia of the Universities. Chemistry and Chemical Technology*, 2003, vol. 46, issue 8, pp. 21–24.

Флегонтов Денис Вячеславович

Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,
Российская Федерация, г. Иваново

E-mail: den.flegontov@yandex.ru

Flegontov Denis Vyheslavovich

Federal State Budget Educational Establishment of Higher Education «Ivanovo Fire Rescue Academy of State Firefighting Service of Ministry of Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters»,

Russian Federation, Ivanovo

E-mail: den.flegontov@yandex.ru

Акулова Марина Владимировна

Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,
Российская Федерация, г. Иваново

советник РААСН, доктор технических наук, профессор

Akulova Marina Vladimirovna

Federal State Budget Educational Establishment of Higher Education «Ivanovo Fire Rescue Academy of State Firefighting Service of Ministry of Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters»,

Russian Federation, Ivanovo

advisor to RAASN, doctor of technical sciences, professor

Пуганов Михаил Владимирович

Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,
Российская Федерация, г. Иваново

Старший преподаватель, кандидат педагогических наук

Puganov Mikhail Vladimirovich

Federal State Budget Educational Establishment of Higher Education «Ivanovo Fire Rescue Academy of State Firefighting Service of Ministry of Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters»,

Russian Federation, Ivanovo

Senior Lecturer, Ph.D.

**ПОЖАРНАЯ И ПРОМЫШЛЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ
(ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ)
FIRE AND INDUSTRIAL SAFETY (TECHNICAL)**

УДК 614.841.411

**ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МАКРОГЕТЕРОЦИКЛИЧЕСКИХ
СОЕДИНЕНИЙ В КАЧЕСТВЕ ТЕРМОМОДИФИКАТОРОВ
КОМПОЗИТНЫХ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ**

Г. В. КУВШИНОВ, А. В. СУРОВЕГИН, М. О. БАКАНОВ, О. В. МИКУШКИН

Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,
Российская Федерация, г. Иваново

E-mail: gmkuvv@gmail.com, sav_37@mail.ru, mask-13@mail.ru, oleg.ipsa@gmail.com

В работе рассмотрено получение современных композитных полимерных материалов, даны определения модификаторов. Особое внимание уделено антипиренам – веществам, снижающим горючесть. Подробно описаны виды антипиренов и приведены механизмы снижения горючести. В отдельную группу были вынесены антипирены, содержащие металл, а именно – металлокомплексы. Также в статье приведены описания фталоцианинов и порфиринов, их металлокомплексов, и показана возможность применения данных соединений в качестве антипиренов. Сделаны выводы о перспективной возможности применения таких комплексов в качестве модификаторов композитных полимерных материалов, снижающих горючесть.

Ключевые слова: полимер, композитный материал, модификатор, антипирен, горючесть, огнестойкость, термостабильность, фталоцианин, порфирин, металлокомплекс.

**PERSPECTIVES FOR USING MACROHETEROCYCLIC COMPOUNDS
AS THERMOMODIFIERS OF COMPOSITE POLYMER MATERIALS**

G. V. KUVSHINOV, A. V. SUROVEGIN, M. O. BAKANOV, O. V. MIKUSHKIN

Federal State Budget Educational Establishment of Higher Education
«Ivanovo Fire Rescue Academy of State Firefighting Service of Ministry of Russian Federation
for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters»,
Russian Federation, Ivanovo

E-mail: gmkuvv@gmail.com, sav_37@mail.ru, mask-13@mail.ru, oleg.ipsa@gmail.com

The article discusses the production of modern composite polymer materials, the definitions of modifiers are given. Particular attention is paid to fire retardants - substances that reduce flammability. The types of fire retardants are described in detail and the mechanisms for reducing the flammability are given. Fire retardants containing metal, namely metal complexes, were included in a separate group. The article also provides descriptions of phthalocyanines and porphyrins, their metal complexes, and shows the possibility of using these compounds as fire retardants. Conclusions are drawn about the promising possibility of using such complexes as modifiers of composite polymer materials that reduce combustibility.

Key words: polymer, composite material, modifier, fire retardant, flammability, fire resistance, thermal stability, phthalocyanine, porphyrin, metal complex.

Стремительное развитие современной науки и техники требует создания материалов с универсальными свойствами. Это связано с тем, что существующие материалы очень быстро устаревают и не могут отвечать современным возрастающим требованиям, а появление на рынке принципиально новых полимерных материалов происходит крайне редко. Промышленности и потребителю требуются материалы с высокими значениями твердости, прочности, долговечности, коррозионной стойкости, огнестойкости, которые не требуют специальной утилизации и могут перерабатываться традиционными способами.

В настоящее время наиболее распространенный способ получения новых композитных полимерных материалов (КПМ) с заданными свойствами — модификация полимерных образцов с помощью введения в полимерную матрицу различных наполнителей. Целенаправленное управление этими свойствами осуществляется за счет изменения марки полимера, технологического процесса, состава, набора компонентов и условий их смешения [1, 2].

На современном этапе развития новые композитные материалы на основе полимеров, обладающие нехарактерными для высокомолекулярных соединений свойствами, такими как электропроводность, теплопроводность, огнестойкость и повышенная механическая прочность, находят широкое применение в различных отраслях промышленности [3].

Однако выбор полимерной матрицы для КПМ практически полностью зависит от среды и условий эксплуатации конечных изделий, так как правильный подбор полимерной матрицы будет оказывать значительное влияние на свойства конечной композиции: прочность, тепло-, огне- и влагостойкость, возможность переработки традиционными способами, стойкость к действию агрессивных сред и т.д. [4]. Однозначно, все КПМ должны соответствовать современным требованиям и нормам для эксплуатации, в том числе обладать высокой огнестойкостью и термостабильностью.

Пожарная опасность значительно осложняет применение КПМ в разных отраслях промышленности и в быту. Пожарная опасность КПМ характеризуется следующими факторами:

- 1) горючесть;
- 2) воспламеняемость;
- 3) способность распространения пламени по поверхности;
- 4) дымообразующая способность;
- 5) токсичность продуктов горения.

Горение полимерных материалов, в отличие от горения газов, относят к горению конденсированных систем, и данный процесс является гетерофазным. В предпламенной

газовой зоне и в конденсированной фазе проходят разного рода химические реакции: как экзо-, так и эндотермические. Регулирование огнестойкости полимерных композиционных материалов во многом обеспечивается составом последних. Выбор полимерной матрицы, связующих компонентов, модификаторов, наполнителей, дисперсность, адгезия полимера и связующих — все факторы будут влиять на огнестойкость и термостабильность КПМ [4].

При увеличении адгезии компонентов КПМ, совокупная прочность композита возрастает, соответственно огнестойкость и сопротивление материалов к термодеструкции увеличиваются. Для снижения горючести полимерных материалов применяют различные химические вещества — антипирены.

Виды антипиренов:

1. Галогенсодержащие антипирены — соединения, которые работают, как правило, в газовой фазе, замедляющие горение и снижающие тепловыделение в пламени.

2. Фосфоросодержащие замедлители горения — действуют и в жидкой и в газовой фазах. Механизм замедления горения и термодеструкции основан на нейтрализации радикалов (Н, О и пр.) радикалами РО.

3. Антипирены, содержащие металлы. На сегодняшний день для увеличения огнестойкости и термостабильности полимерных материалов в качестве антипиренов часто используют соединения металлов. Такие соединения являются основными компонентами в порошковых средствах для пожаротушения. Поскольку вероятность образования конденсированной фазы внутри пламени повышается при повышении концентрации металлосодержащих добавок, то, следовательно, при более низких значениях концентрации последних, часто наблюдается гомогенный процесс.

Авторами [5] при исследовании процессов замедления распространения пламени разнообразными компонентами было показано, что в некоторых случаях эффективность сдерживания развития горения металлосодержащих антипиренов выше, чем галогенсодержащих. В этом исследовании большую роль играет не только выбор антипирена и природа металла, но и характер используемого горючего.

4. Наночастицы соединений металлов. Сегодня многочисленные исследования в области огнестойкости полимерных материалов направлены на получение новых добавок снижающих горючесть. Однако, в большинстве случаев для повышения огнестойкости необходимо введение большого объема таких добавок, что негативно влияет на другие свойства материала. В этом случае микро- и макро-размерные частицы наполнителя заменяют

наноразмерными частицами [5]. Введение наноразмерных частиц благоприятно сказывается на подвижности полимерных макромолекул, а также сильно увеличивают удельную площадь поверхности частиц, что в конечном варианте положительно сказывается на количестве необходимого наполнителя, а также в путях и процессах деградации. Авторы [6] провели анализ влияния оксида титана на увеличение огнестойкости и показали, что к существенному увеличению термостабильности и огнестойкости приводит образование кокса на поверхности композита.

Скорость горения является одним из основных параметров, измеряемых для оценки огнестойкости материала. Коллективом авторов [7] была показана зависимость скорости горения от содержания в полимерной матрице гидроксида магния. При увеличении концентрации гидроксида магния, скорость горения уменьшалась, а скорость теплового выделения уменьшалась практически до 90 %.

Однако, положительное влияние на огнестойкость и термостабильность оказывают не только относительно простые вещества, но и металлокомплексы разветвленной структуры на основе порфиринов и фталоцианинов.

Порфирины и их структурные аналоги — макрогетероциклические соединения, которые содержат в своей основе цикл порфина (рисунок 1), состоящий из четырех колец пиррола. Порфирины широко распространены в природе, где выполняют важнейшие биологические функции [8].

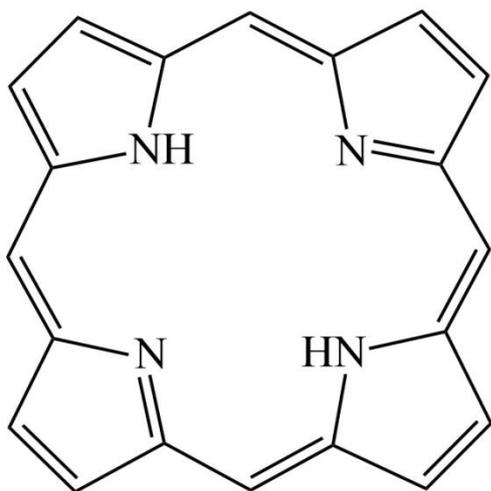


Рис. 1. Структурная формула порфина

Одной интересной для изучения группой структурных аналогов для природных порфиринов является фталоцианин (рисунок 2) и его многочисленные металлопроизводные

[8]. Фталоцианин является мощнейшим хромофором. Это синтетический неклассический порфирин, имеющий минимальное число полос поглощения предельной интенсивности ($\epsilon \approx 105$).

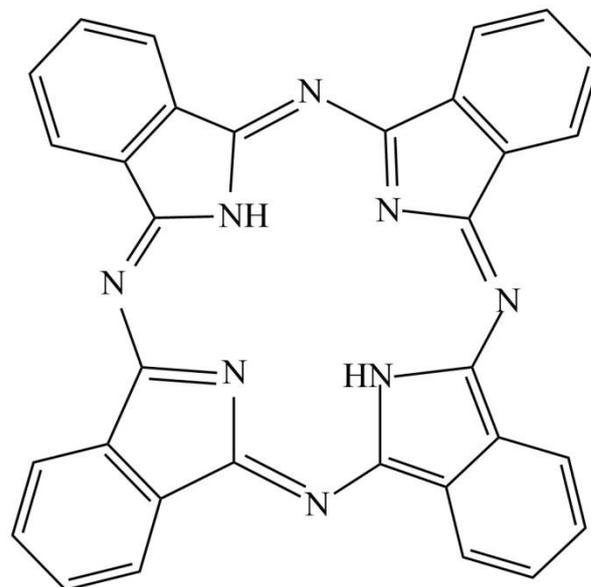


Рис. 2. Структурная формула фталоцианина

Немалый интерес к фталоцианинам вызван наличием у них ряда важных свойств, в число которых входят ценные красящие свойства металлических солей фталоцианина и его многочисленных производных. По этой причине они используются в такой важной науке, как бионика, а также в качестве высококачественных пигментов. В последнее время возможности использования ценных свойств фталоцианинов резко возросли благодаря открытию и изучению их полупроводниковых свойств, синтезу полимерных фталоцианинов. Также одним из ценных свойств фталоцианинов является способность выступать в качестве катализаторов в различных химических, электрохимических и фотохимических процессах [8].

Часто свободному применению и использованию фталоцианинов мешает их нерастворимость, либо чрезвычайно низкая растворимость в органических растворителях. Введение объемистых заместителей в молекулы этих соединений, например, трет-бутильных, или крупных камфорахиновых заместителей, обеспечивает им хорошую растворимость, что существенно увеличивает возможности их применения [9].

Однако, применение таких конструкций порфиринов или фталоцианинов для снижения горючести изучено слабо. Известно, что наличие в молекуле двойных связей, ароматиче-

ских колец, больших боковых групп затрудняет подвижность молекулы и вызывает повышение температуры плавления и разложения. Также снижение горючести и, как следствие, увеличение термостабильности возможно за счет регулирования неспецифических и специфических межмолекулярных взаимодействий и образования химических связей между полимерной матрицей и модификатором.

Авторами [10] была произведена модификация ПВХ пленки фталоцианином, что положительно сказалось на термостабильности данного КПМ. При определении кислородного индекса данного материала оказалось, что модифицирование макрогетероциклическим соединением приводит к увеличению значения кислородного индекса, и, следовательно, пожарная опасность материала уменьшается. При сравнении результатов, полученных при измерении кислородного индекса и данных, полученных при проведении термогравиметрического эксперимента можно отметить, что изменение кислородного индекса совпадает с изменением общей убыли массы. Образец с макроге-

тероциклом обладает наибольшим значением кислородного индекса и наименьшим значением общей потери массы в процентах. Для макрогетероциклической добавки значение кислородного индекса составило – 26 %, что превосходит другие образцы в этом эксперименте: нанотрубки (24,1 %), технический углерод марки П-803 (23,7 %) и П-324 (23,2 %). Это говорит о том, что образец полимера, модифицированный макрогетероциклической добавкой будет являться трудногорючим и не поддерживающим самостоятельного горения.

Цель настоящей работы заключалась в оценке возможности использования макрогетероциклических соединений в качестве модификаторов полимеров для повышения показателей огнестойкости готовых изделий (КПМ).

Нами были синтезированы металлокомплексы камфоразамещенных (рисунок. 3) тетрапиразинопорфиразинов ((Cam)₄Pz-M) по известной методике [11] и 5,10,15,20-тетракис[3',5'-ди-(2''-метилбутилокси)фенил]-порфин Ni(II) (8R-TPP-Ni), которые будут использованы для модификации ПВХ пленок.

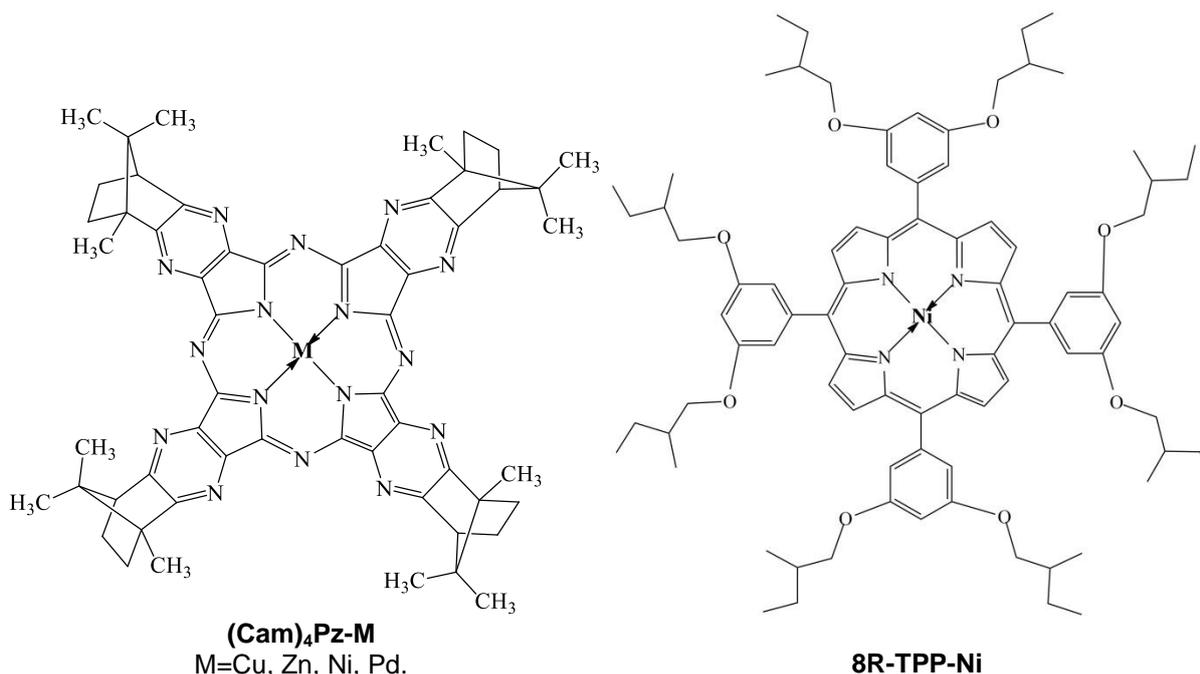


Рис. 3. Металлокомплекс камфоразамещенного тетрапиразинопорфиразина и тетрафенилпорфина никеля

На первом этапе работы были проведены испытания потенциального модификатора — оценка его термической стабильности. Для этого были получены экспериментальные данные методом дифференциально-сканирующей калориметрии и проведен термогравиметрический анализ.

Анализ методом ДСК выполнялся на дифференциально-сканирующем калориметре NETZSCH DSC 204 F1. Измерения проводили при нагревании и охлаждении в динамическом режиме в потоке аргона со скоростью 5 и 10°С/мин в интервале температур от 25°С до 250°С.

Термогравиметрический анализ (ТГА) проводили на приборе NETZSCH STA A-0177-M в динамическом режиме в алюминиевых тиглях в потоке аргона. Скорость подъема температуры составляла 10°C/мин, интервал температур от 25°C до 750°C. Математическую обработку экспериментальных данных проводили с использованием компьютерной программы NETZSCH Proteus Analysis.

По данным термического анализа камфоразамещенный тетрапиразинофорфизин (**Cam**)4Pz-Ni и тетрафинилпорфин **8R-TPP-Ni** являются неплавкими и термически устойчивыми, в диапазоне температур от 80°C до 200°C не зафиксировано никаких фазовых переходов. Температура начала разложения макрөгетероциклов, которая была определена по кривой ТГ как температура потери 1 % массы, составляет 220°C и 210°C. При температуре 380°C образец теряет 70 % массы. Кроме этого методом ТГ проведено исследование процесса испарения (**Cam**)4Pz-Ni. При нагревании образца до 250°C зафиксировано постоянство массы навески, что свидетельствует о низкой летучести металлоорганического комплекса.

Для сравнения были выбраны никелевые комплексы, как образцы, показавшие наилучший результат по данным ДСК и ТГА, и как следствие можно предположить, что введение данных модификаторов в полимерный образец приведет к увеличению кислородного индекса и снижению горючести конечного материала. Также перспектива использования данных добавок состоит еще в том, что при модификации ими полимеров, можно предположить, что будет происходить смещение температурных границ фазовых переходов и стеклования. Это в свою очередь повысит пределы температурной эксплуатации полимерных образцов, что позволит снизить пожарную опасность всего полимерного изделия в целом

Список литературы

1. Шульга А. В. Композиты, ч. 1. Основы материаловедения композиционных материалов. М.: НИЯУ МИФИ, 2013. 96 с.
2. Кербер М. Л. Полимерные композиционные материалы. Структура. Свойства. Технологии. СПб.: Профессия, 2008. 560 с.
3. Крок П. Современные композиционные материалы. Пер. с англ. под ред. А. А. Ильюшина и Б. Е. Победри. М.: Мир, 1978. 568 с.

Заключение

1. Снижение горючести и повышение огнестойкости КПМ является актуальной задачей, обусловленной высокой востребованностью полимерных материалов в быту и на производстве. Актуальной задачей является поиск новых эффективных антипиренов. Первичные исследования показали высокую эффективность использования в этих целях фталоцианинов и порфиринов. Однако влияние металлопорфиринов и фталоцианинов на снижение горючести КПМ еще мало изучено, что открывает новые перспективы и возможности для изучения влияния данных соединений на показатели пожарной опасности КПМ.

2. На основании обзора литературных данных, показана перспектива использования порфиринов и фталоцианинов в качестве термомодификаторов. Эта возможность оправдана высокими показателями их термической стабильности, полученными в ходе снятия кривых ДСК и термогравиметрического анализа, а также разветвленным строением, содержащим объемные боковые заместители. Образцы показали низкую летучесть, высокую температуру потери массы, а также отсутствие разложения в широком диапазоне температур. Поэтому модификация КПМ такими соединениями возможна, а также можно предположить, что введение металлокомплексов фталоцианинов и порфиринов в КПМ приведет к повышению термостабильности, увеличению кислородного индекса и снижению пожарной опасности полимерных образцов в целом.

3. Следующий этап данной работы будет заключаться в непосредственной модификации полимерных образцов данными макрөгетероциклическими добавками, экспериментальном определении кислородного индекса образцов с различными концентрациями модификатора и проведении анализа методами ДСК и ТГА для выявления температурных границ фазовых переходов и стеклования у представленных модифицированных полимерных композиций.

4. Хоанг Тхань Хай Разработка огне- и термостойких наноматериалов на основе ненасыщенных полиэфирных смол, содержащих наночастицы оксидов магния и цинка: дис. ... канд. хим. наук: 05.16.08, 05.17.06. М., 2019. 146 с.

5. Zong L., Li L., Zhang J., Yang X., Lu G., Tang Z. Synthesis of High Dispersion and Uniform Nano-sized Flame Retardant-Used Hexagonal Mg(OH)₂. J Clust Sci. 2016. Vol. 27. P. 1831–1841.

6. Матвеев М. Д., Маракулин С. И., Серцова А. А., Юртов Е. В. Влияние микро- и наночастиц бората цинка на горючесть композиционных материалов на основе полиметилметакрилата // *Успехи в химии и химической технологии*. 2015. Т. 29. № 6 (165). С. 99–101.

7. Tang Haoa, Zhou Xiao-baib, Liu Xiaolu Effect of Magnesium Hydroxide on the Flame Retardant Properties of Unsaturated Polyester Resin. *Procedia Engineering*. 2013. issue 52. pp. 336–341.

8. Зиядова Т. М. Кинетика и механизм окисления *n*-пропилмеркаптана в процессах гомогенного и гетерогенного катализа макроциклическими комплексами кобальта: дис. ... канд. хим. наук: 02.00.04, 02.00.01. Иваново, 2014. 150 с.

9. Кувшинов Г. В., Майзлиш В. Е., Кувшинова С. А., Бурмистров В. А., Койфман О. И. Комплексы трет-бутилзамещенных фталоцианинов меди и никеля как модификаторы пленок на основе поливинилхлорида и адсорбентов для газовой хроматографии // *Макрогетероциклы*. 2016. №9(3). С. 244–249.

10. Петров А. В., Кувшинова С. А., Гесе Ж. Ф., Фролова Т. В. Исследование термостойкости поливинилхлоридных пленочных материалов. // *Современные пожаробезопасные материалы и технологии*. Сборник материалов Международной научно-практической конференции, посвященной Году гражданской обороны. 2017. С. 116–118.

11. Jang C. K., Byun S. H., Kim S. H., Lee D. K., Jae-Yun Jaung J.-Y. Synthesis and optical properties of tetrapyrazinoporphyrazines containing camphorquinone group. *J. Porph. Phthal*. 2009. V. 13. 794 p.

References

1. Shul'ga A. V. *Kompozity, ch. 1. Osnovy materialovedeniya kompozitsionnykh materialov* [Fundamentals of Materials Science of Composite Materials]. M.: NIYAU MIFI, 2013. 96 p.

2. Kerber M. L. *Polimernye kompozitsionnye materialy. Struktura. Svoystva. Tekhnologii* [Polymer composite materials. Structure. Properties. Technologies]. SPb.: Professiya, 2008. 560 p.

3. Krok P. *Sovremennye kompozitsionnye materialy* [Modern composite materials]. Per. s angl. pod red. A.A. Il'yushina i B.E. Pobedri. M.: Mir, 1978. 568 p.

4. Hoang Than' Haj. Razrabotka ogne- i termostojkih nanomaterialov na osnove nenasyshchennykh poliefirnykh smol, sodержashchih nanochasticy oksidov magniya i cinka. Diss. kand.

him. nauk [Development of fire and heat resistant nanomaterials based on unsaturated polyester resins containing nanoparticles of magnesium and zinc oxides. Kand. him. sci. dis.]. Moskva, 2019. 146 p.

5. Zong L., Li L., Zhang J., Yang X., Lu G., Tang Z. Synthesis of High Dispersion and Uniform Nano-sized Flame Retardant-Used Hexagonal Mg(OH)₂. *J Clust Sci.*, 2016, issue 27, pp. 1831–1841.

6. Matveev M. D., Marakulin S. I., Sercova A. A., Yurtov E. V. Vliyanie mikro- i nanochastich borata cinka na goryuchest' kompozitsionnykh materialov na osnove polimetilmetakrilata [Influence of micro- and nanoparticles of zinc borate on the combustibility of composite materials based on polymethyl methacrylate]. *Uspekhi v himii i himicheskoy tekhnologii*, 2015, T. 29, vol. 6 (165), pp. 99–101.

7. Tang Haoa., Zhou Xiao-baib., Liu Xiaolu. Effect of Magnesium Hydroxide on the Flame Retardant Properties of Unsaturated Polyester Resin. *Procedia Engineering*, 2013, issue 52, pp. 336–341.

8. Ziyadova T. M. Kinetika i mekhanizm okisleniya *n*-propilmerkaptana v processah gомогенного i geterогенного kataliza makrociklicheskimy kompleksami kobal'ta. Diss. kand. him. nauk [Kinetics and mechanism of *n*-propylmercaptan oxidation in the processes of homogeneous and heterogeneous catalysis by macrocyclic cobalt complexes. Kand. him. sci. dis.]. Ivanovo, 2014. 150 p.

9. Kuvshinov G. V., Majzlish V. E., Kuvshinova S. A., Burmistrov V. A., Kojfman O. I. Kompleksy tret-butylzameshchennykh ftalocianinov medi i nikelya kak modifikatory plenok na osnove polivinilhlorida i adsorbentov dlya gazovoy hromatografii [Complexes of tert-butyl-substituted phthalocyanines of copper and nickel as modifiers of films based on polyvinyl chloride and adsorbents for gas chromatography]. *Makrogeterocikly*, 2016, vol. 9(3), pp. 244–249.

10. Petrov A. V., Kuvshinova S. A., Gese Zh. F., Frolova T. V. Issledovanie termostojkosti polivinilhlоридных plenочных materialov [Study of thermal stability of polyvinylchloride film materials]. *Sovremennye pozharobezopasnye materialy i tekhnologii. Sbornik materialov Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii, posvyashchennoj Godu grazhdanskoj oborony*, 2017, pp. 116–118.

11. Jang C. K., Byun S. H., Kim S. H., Lee D. K., Jae-Yun Jaung J.-Y. Synthesis and optical properties of tetrapyrazinoporphyrazines containing camphorquinone group. *J. Porph. Phthal*, 2009, vol. 13, 794 p.

Кувшинов Григорий Владимирович

Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,
Российская Федерация, г. Иваново
кандидат химических наук, научный сотрудник
E-mail: gmkuvv@gmail.com

Kuvshinov Grigory Vladimirovich

Federal State Budget Educational Establishment of Higher Education «Ivanovo Fire Rescue Academy of State Firefighting Service of Ministry of Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters»,
Russian Federation, Ivanovo
pHD (Chemistry), Researcher
E-mail: gmkuvv@gmail.com

Суровегин Антон Вячеславович

Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,
Российская Федерация, г. Иваново
начальник научно-исследовательского отделения
E-mail: sav_37@mail.ru

Surovegin Anton Vyacheslavovich

Federal State Budget Educational Establishment of Higher Education «Ivanovo Fire Rescue Academy of State Firefighting Service of Ministry of Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters»,
Russian Federation, Ivanovo
head of research department
E-mail: sav_37@mail.ru

Баканов Максим Олегович

Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,
Российская Федерация, г. Иваново
кандидат технических наук, начальник кафедры
E-mail: mask-13@mail.ru

Bakanov Maxim Olegovich

Federal State Budget Educational Establishment of Higher Education «Ivanovo Fire Rescue Academy of State Firefighting Service of Ministry of Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters»,
Russian Federation, Ivanovo
pHD (technical), head of the department
E-mail: mask-13@mail.ru

Микушкин Олег Владимирович

Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,
Российская Федерация, г. Иваново
научный сотрудник
E-mail: oleg.ipso@gmail.com

Mikushkin Oleg Vladimirovich

Federal State Budget Educational Establishment of Higher Education «Ivanovo Fire Rescue Academy of State Firefighting Service of Ministry of Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters»,
Russian Federation, Ivanovo
Researcher
E-mail: oleg.ipso@gmail.com

УДК 331.453

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ ИСТЕЧЕНИЯ ИЗ ОТВЕРСТИЙ ПРИ АВАРИЯХ НА ГАЗОПРОВОДАХ

И. М. КУЛИКОВ, В. Б. БУБНОВ, Е. В. ШИРЯЕВ

Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,
Российская Федерация, г. Иваново
E-mail: kafppv@mail.ru

Проанализированы используемые в настоящее время подходы к расчету и прогнозированию процессов истечения газов в случае возникновения аварий на газопроводе. Описаны недостатки существующих методик, обусловленные принимаемыми в них допущениями, которые приводят к значительным погрешностям прогнозирования. Предложена модель и методика расчета процессов истечения через порывы на аварийно отключенных участках газопроводов. Модель разработана с учетом динамики параметров газа в процессе истечения. Учитывается изменение давления вблизи отверстия порыва, которое обусловлено движением к нему газа, а также изменение температуры при расширении газа, обусловленное его неидеальностью. Представлены и проанализированы результаты ряда проведенных численных исследований. Установлено влияние эквивалентного диаметра отверстия порыва на процесс истечения. Модель может быть полезна для прогнозирования динамики аварийного истечения газов и разработке качественных управленческих решений по организации профилактических и ремонтных мероприятий.

Ключевые слова: авария, динамика, истечение, газопровод, массовый расход, прогнозирование, теплофизические свойства.

STUDY OF THE DYNAMICS OF OUTLETS FROM HOLES IN ACCIDENTS ON GAS PIPELINES

I. M. KULIKOV, V. B. BUBNOV, E. V. SHIRYAEV

Federal State Budget Educational Establishment of Higher Education
«Ivanovo Fire Rescue Academy of State Firefighting Service of Ministry of Russian Federation
for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters»,
Russian Federation, Ivanovo
E-mail: kafppv@mail.ru

The current approaches to the calculation and forecasting of gas outflow processes in the event of accidents on a gas pipeline are analyzed. The disadvantages of existing methods are described, due to the assumptions made in them, which lead to significant forecasting errors. A model and methodology for calculating the processes of outflow through gusts on emergency shutdown sections of gas pipelines are proposed. The model was developed taking into account the dynamics of gas parameters during the outflow process. The change in pressure near the hole of the gust, which is due to the movement of gas towards it, as well as the change in temperature during gas expansion, due to its imperfection, is taken into account. The results of a number of conducted numerical studies are presented and analyzed. The effect of the equivalent diameter of the gust hole on the outflow process has been established. The model can be useful for predicting the dynamics of emergency gas outflow and developing high-quality management solutions for organizing preventive and repair measures.

Key words: accident, dynamics, expiration, gas pipeline, mass flow, forecasting, thermophysical properties.

Российская Федерация занимает ведущее место по запасам газа и нефти в мире. Ежегодно в России добывается более 660 млрд. куб. м. газа, из них нефтяной газ – 10 %, природный газ – 90 % и более 500 млн. тонн чистой нефти. Использование для транспортировки природных ресурсов, наряду с водным и железнодорожным транспортом, трубопроводного транспорта, является одним из самых экономичных и быстрых способов доставки к потребителю продукта.

Анализ риска аварий в разных отраслях нефтегазового комплекса, составленный из отчетов Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору показал, что наиболее высокий риск аварий происходит на магистральном трубопроводном транспорте, в частности, на газопроводах [1] (рис. 1).

Наиболее высокая вероятность перехода от инцидента к аварии, как следует из графиков рис. 1, именно на магистральном трубопроводном транспорте.

К основными поражающим факторам возникновения аварий на магистральных газопроводах относятся: тепловой поток с поверхности пламени и прямое огневое воздействие струи истекающего газа при пожарах; разлет фрагментов (осколков) газопровода; избыточное давление во фронте воздушной ударной волны, которая образуется при сгорании газозвушной смеси и расширении газа; образование взрывоопасной зоны (загазованность атмосферы) в случаях выбросов газа без возгорания.

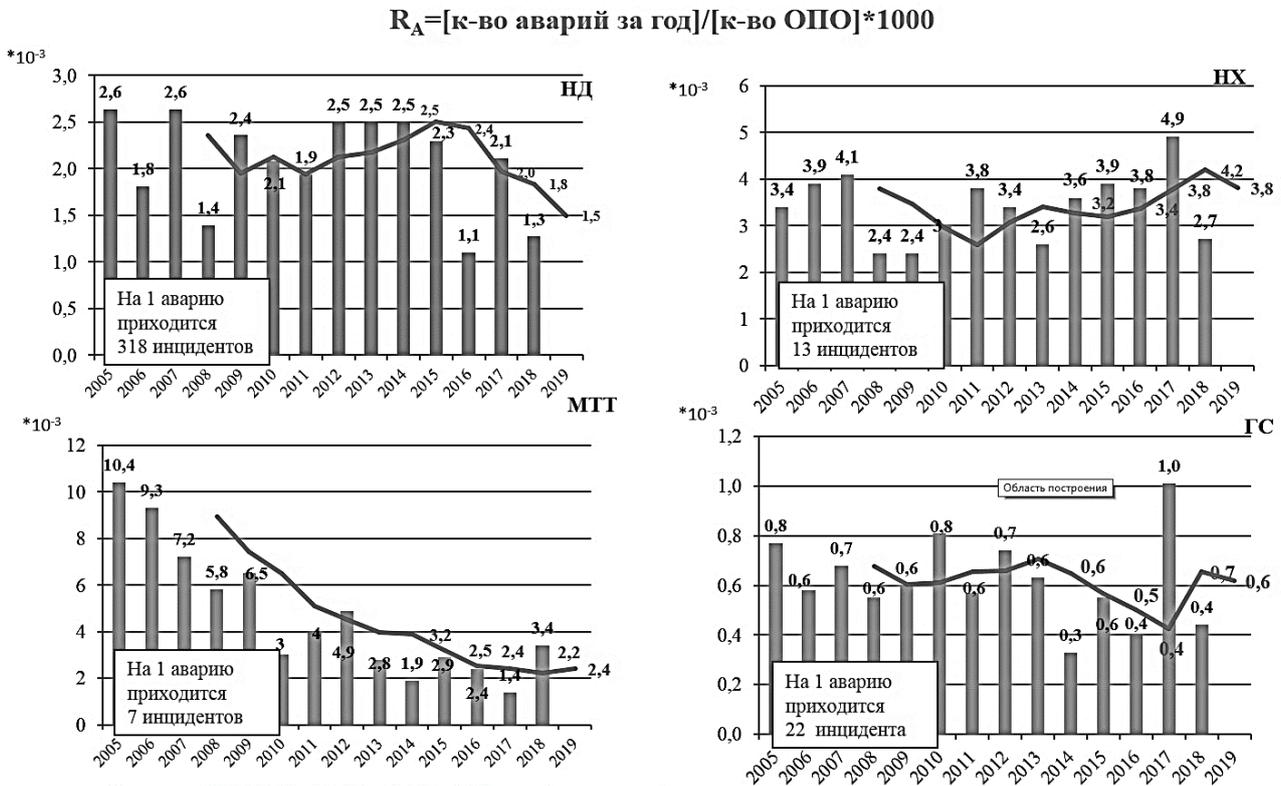


Рис. 1. Фоновый риск аварий в отраслях нефтегазового комплекса:

НД - объекты нефтедобычи; NH - объекты нефтегазоперерабатывающей и нефтехимической промышленности; МТТ- магистральный трубопроводный транспорт; GS - объекты газоснабжения

Локальная или полная разгерметизация газопроводов происходит по следующим причинам: внешняя и внутренняя коррозия; внешние механические воздействия техногенного и природного характера; критическое развитие дефектов, скрытых в материале газопровода, арматуре, сварных швах; внутренние механические воздействия повышенного дав-

ления эрозии и продукта; человеческий фактор (повреждения при выполнении сельскохозяйственных, земляных и других работ, несанкционированные врезки в газопровод).

Для адекватного прогнозирования последствий аварийных истечений газа и принятия технически обоснованных, грамотных решений о продолжительности ведения ремонт-

ных работ возникает необходимость исследования динамики истечения через порывы на участках газопроводов, отключенных вследствие аварийных ситуаций [2].

В ряде работ [3, 4] рассматривались задачи по расчету аварийного истечения газов, но результаты прогнозов зачастую не соответствовали реальной картине, имеющей место на практике.

Принятие допущений об идеальности газа, изотермичности исследуемого процесса приводят к значительным погрешностям прогнозирования. В процессе истечения не учитывается изменение важных параметров газа (показатель адиабаты, теплоемкость). Кроме того, давление вблизи отверстия порыва изменяется вследствие движением к нему газа, а также происходит изменение температуры при расширении газа, которое обусловлено его неидеальностью.

В связи с отмеченными обстоятельствами, создание моделей, описывающих исследуемые процессы при отсутствии указанных допущений, повышающих точность расчетных прогнозов и способствующих принятию правильных управленческих решений, является актуальной задачей.

При значительных давлениях учет сверхсжимаемости газа, как показано в работах [5-7], может привести к возрастанию расхода истечения более чем на 25 %. Но в расчетах авторы задают в исходных данных коэффициент сверхсжимаемости и принимают его в течение всего исследуемого процесса постоянным.

Рассмотрим на аварийно отключенном участке газопровода процесс истечения газа через порыв в окружающую среду. Данный процесс является нестационарным с непрерывно изменяющимися теплофизическими и расходными характеристиками. Для расчета процесса организуется цикл по времени $t = n \cdot \Delta t$, где $n = 0, 1, 2, \dots$ – номер шага. Как показывает опыт, подбор величины шага Δt осуществляется в зависимости от эквивалентного диаметра отверстия порыва. Чем он меньше и чем больше начальная масса газа в газопроводе, тем больше шаг Δt .

Массовый расход истечения m_n через порыв эквивалентным диаметром d определяется на каждом шаге [8]

$$m_n = k_q \left(\frac{\pi d^2}{4} \right) \sqrt{\frac{2k}{k-1} p_{an} \rho_{an} \left(y_n^{\frac{2}{k}} - y_n^{\frac{k+1}{k}} \right)}, \quad (1)$$

где k_q – коэффициент расхода; ρ_a – плотность газа в сечении локализации порыва, y – отношение давлений (в окружающей среде и в га-

зопроводе в сечении, где локализован порыв p_a); k – показатель адиабаты.

Коэффициент расхода зависит от формы отверстия. Для отверстия с острой кромкой $k_q \approx 0,62$ [9].

В том случае, когда величина y меньше критической, в расчет по формуле (1) принимается $y = y_c$.

$$y_c = \left(\frac{2}{k+1} \right)^{\frac{k}{k-1}}, \quad (2)$$

В участке масса газа $M_n = M_{n-1} - m_n \cdot \Delta t$, его плотность рассчитывается как отношение данной массы к объему рассматриваемого участка.

Температура газа определяется следующим образом

$$T_n = T_{n-1} \left(\frac{\rho_n}{\rho_{n-1}} \right)^{\frac{k-1}{k}} - \frac{K_t L}{M_n c_p} (T_{n-1} - T_o) \Delta \tau, \quad (3)$$

где T_o – температура окружающей среды; K_t – коэффициент теплопередачи в окружающую среду от газа (линейный, отнесен к единице длины газопровода).

В уравнении (3) охлаждение газа при его адиабатном расширении учитывает первое слагаемое, теплообмен с окружающим воздухом учитывает второе слагаемое.

Для расчета показателя адиабаты k и теплоемкости c_p используются справочные эмпирические формулы [10].

Для определения давления газа используется уравнение состояния

$$p_n = p_{n-1} \frac{z_n \rho_n T_n}{z_{n-1} \rho_{n-1} T_{n-1}}. \quad (4)$$

Поскольку температура влияет на показатель адиабаты, на каждом шаге по времени следует пересчитывать критическое отношение давлений (2). Как показали исследования, поскольку в процессе истечения температура обычно стабилизируется, при проведении расчетов можно пользоваться величиной y_c , определенной при температуре окружающей среды. Это же можно сказать и о величине теплоемкости c_p .

Для использования модели (1)-(4) необходимо обладать знаниями теплофизических параметров газа, для чего в работе использовалось уравнение состояния реального газа Пенга-Робинсона [11]. Это кубическое уравнение, относительно коэффициента сверхсжимаемости.

Необходимо задать условие завершения процедуры вычислений. Его задаем по величине той доли газа, которая покинула аварийный участок:

$$m_{pn} = (1 - M_n/M_0), \quad (5)$$

где M_0 – масса газа начальная (в участке до истечения).

Величина m_p асимптотически приближается к единице, что следует учитывать при выборе ее максимальной величины.

Приведем анализ некоторых результатов численных исследований. Исследовалась динамика аварийного истечения из отключенного участка трубопровода (диаметр трубопровода 325×6 мм, длина 1000 м) при начальном давлении газа в нем 55 ата и температуры газа 303 К. Истечение происходит в окружающую среду с температурой 263 К и атмосферным давлением. Эквивалентные диаметры отверстий порыва принимались 3, 5 и 7 мм.

Результаты расчетов, полученные с использованием предлагаемой методики, показывают, что в газопроводе температура газа вначале резко уменьшается ниже температуры окружающей среды, затем постепенно возрастает и приближается асимптотически к температуре окружающей среды. Данное обстоятельство объясняется тем, что масса газа в газопроводе на начальном этапе уменьшается быстро, поэтому влияние адиабатного расширения преобладает над влиянием теплообмена (в уравнении (3) первое слагаемое больше второго). В дальнейшем, при сильном уменьшении расхода истечения, начинает преобладать влияние теплообмена с окружающей средой.

Расчеты, которые выполнены при допущениях об изотермическом истечении идеального газа со средними значениями теплофизических свойств, характеризуются монотонным уменьшением температуры газа до температуры окружающего воздуха [3, 12].

Адиабатное расширение, его влияние, становится значительнее в случае увеличения диаметра. К примеру, при эквивалентном диаметре отверстия порыва 7 мм разница достигает 19 К.

Поскольку входящие в уравнения (1)-(4) параметры от температуры зависят, то результаты расчетов параметров исследуемого процесса, полученные для изотермического истечения идеального газа, и полученные с использованием предлагаемой методики, будут различаться.

Сравнение результатов динамики степени опорожнения показывает, что используемые в работах [3, 4] допущения приводят к ошибкам порядка 15 % и расхождение выше, чем больше величина сечения порыва.

Полученные с использованием предлагаемой методики результаты численных исследований динамики давления газа в аварийно

отключенном участке газопровода и массового расхода утечки, представлены на рис. 2 и 3.

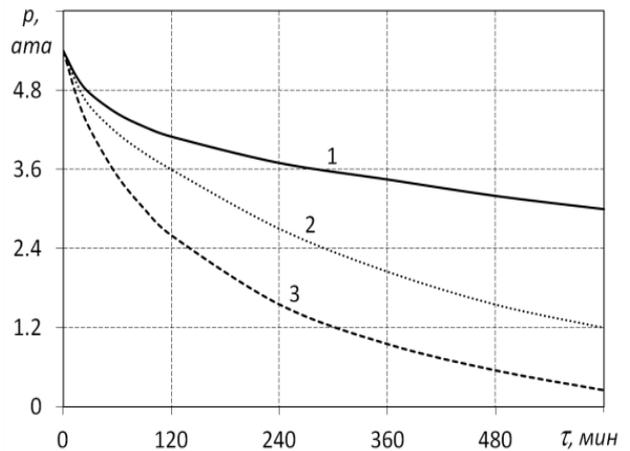


Рис. 2. Изменение давления газа в газопроводе при эквивалентных диаметрах отверстия порыва: 1 – 3 мм; 2 – 5 мм; 3 – 7 мм

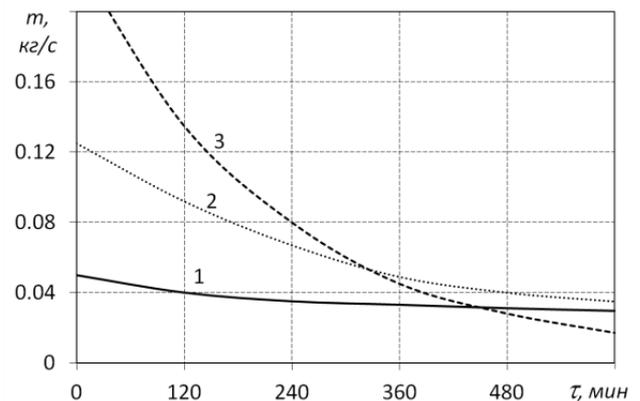


Рис. 3. Изменение массового расхода истечения в газопроводе при эквивалентных диаметрах отверстия порыва: 1 – 3 мм; 2 – 5 мм; 3 – 7 мм

Из графиков рис. 2 и 3 видно, что массовый расход истечения быстро уменьшается со временем, давление приближается к давлению окружающего воздуха асимптотически. Причем, чем больше эквивалентный диаметр отверстия порыва, тем быстрее протекают эти процессы.

В случаях больших значений эквивалентного диаметра отверстия порыва следует учитывать снижение давления перед ним из-за гидropотерь движущегося к отверстию газа с того и другого концов аварийного участка газопровода.

На шаге n давление перед порывом p_n можно определить, используя закон сохранения массы. Поскольку массовый расход утечки

есть сумма массовых расходов от концов участка газопровода к отверстию, то

$$m_{1n} + m_{2n} = m_n. \quad (6)$$

Массовые расходы газа к отверстию от концов участка

$$m_{1n} = \left(\frac{\pi D}{4}\right)^2 \sqrt{\frac{2D\rho_n(p_n - p_{rn})}{\lambda l_1}}, \quad (7)$$

$$m_{2n} = \left(\frac{\pi D}{4}\right)^2 \sqrt{\frac{2D\rho_n(p_n - p_{rn})}{\lambda l_2}}, \quad (8)$$

где λ – коэффициент трения (гидравлического сопротивления) участков.

Массовый расход утечки

$$m_n = \mu \left(\frac{\pi d^2}{4}\right) \sqrt{\frac{2k}{k-1} p_{rn} \rho_n \left(y_n^{\frac{2}{k}} - y_n^{\frac{k+1}{k}}\right)}. \quad (9)$$

Были проведены численные исследования влияния размера отверстия порыва на истечение газа. Полученные результаты позволили сделать вывод, что это влияние становится заметным при отношении эквивалентного диаметра отверстия порыва к диаметру участка газопровода более 0,3 (рис. 4).

Массовый расход утечки пропорционален квадратному корню давления. Полученный результат является важным, поскольку становится очевидным, что это влияет на важнейшие параметры исследуемого процесса.

Таблица 1. Сравнение результатов расчетов параметров критического истечения газа по предлагаемой и классической методикам

Параметр	Результаты расчетов	
	Предлагаемая методика	Классическая методика
Критическое отношение температур T_c/T_o	0,8236	0,8734
Критическое отношение давлений p_c/p_o	0,454	0,548
Критическая массовая скорость, (ρw) кг/(м ² с)	165,2	183,6
Критическая скорость, w_c м/с	425,84	411,52

Анализ результатов, представленных в табл., показывает, что расчет по классической, используемой методике дает завышенные значения потерь газа. В представленном примере она составила более 11 %.

Список литературы

1. Ежегодные отчеты о деятельности Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору [Электронный ресурс] // Ростехнадзор. URL:

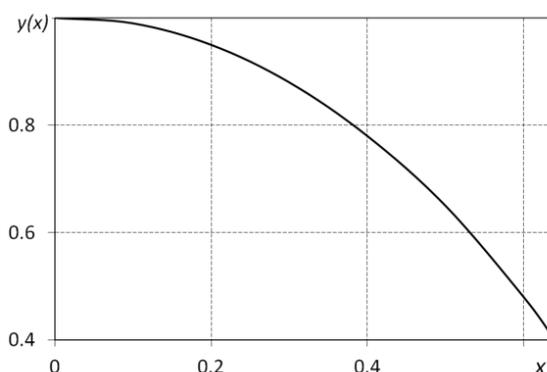


Рис. 4. Влияние размера отверстия порыва $x = d/D$ на уменьшение давления перед ним $y = p_r/p_b$

К примеру, если эквивалентный диаметр отверстия порыва составляет 0,4 диаметра участка газопровода, расход утечки снизится почти на 10 % и произойдет это благодаря гидropотерь движущегося к нему от обоих концов участка газового потока.

Для оценки влияния учета действительных свойств реального газа на получаемые результаты критических параметров истечения газа и расход рассмотрим пример истечения через отверстие в емкости метана. Начальные параметры $T_o = 17$ °С, $p_o = 9$ Мпа. Результаты расчетов сведены в таблицу.

Использование предложенной методики позволит повысить точность прогнозирования и будет способствовать принятию качественных управленческих решений по планированию профилактических и ремонтных мероприятий.

http://www.gosnadzor.ru/public/annual_reports/.

2. Елин Н. Н. Программный комплекс OIS PIPE для математического моделирования сложных трубопроводных систем промышленного обустройства // Нефтяное хозяйство. 2008. № 5. С. 65–69.

3. Лурье М. В. Математическое моделирование процессов трубопроводного транспорта нефти, нефтепродуктов и газа. М.: Изд. Центр РГУ нефти и газа им. И. М. Губкина, 2012. 456 с.

4. Куцова Е. В., Сердюков С. Г., Васильев Е. М. Математическое моделирование аварийных режимов магистральных газопроводов // Вестник Воронежского государственного технического университета. 2011. Т. 7. № 9. С. 17–21.

5. Лурье М. В. Экспертиза утечек газа из резервуаров с высоким давлением // Территория нефтегаз. 2014. № 4. С. 52–57.

6. Лурье М. В. Экспертиза потерь нефти и газа при авариях на трубопроводах // Эксперт-криминалист. 2004. № 2. С. 7–13.

7. Лурье М. В., Найденов Р. А. Уточненный расчет утечек газа через отверстия в стенках газопроводов высокого давления // Газовая промышленность. 2014. № 8 (710). С. 82–85.

8. Кириллин В. А., Сычев В. В., Шейндлин А. Е. Техническая термодинамика. М.: Энергоатомиздат, 1983. 512 с.

9. Абросимов Ю. Г. Гидравлика. М.: Академия ГПС МЧС России, 2017. 321 с.

10. Рид Р., Праусниц Дж., Шервуд Т. Свойства газов и жидкостей: Справочное пособие. Л.: Химия, 1982. 592 с.

11. Brill J. P., Mukherjee H. Multiphase flow in wells. Henry L. Doherty Fund of AIME Society of Petroleum Engineers Inc. Richardson. Texas, 1999. 157 p.

12. Лурье М. В., Некляев А. В. Об одном опасном явлении, сопровождающем истечение газа из газопровода // Газовая промышленность. 2008. № 1. С. 82–83.

References

1. Yezhegodnyye otchety o deyatelnosti Federal'noy sluzhby po ekologicheskому, tekhnologicheskому i atomnomu nadzoru [Elektronnyy resurs] [Annual reports on the activities of the Federal Service for Environmental, Technological and Nuclear Supervision [Electronic resource]]. Rostekhnadzor. URL: http://www.gosnadzor.ru/public/annual_reports/.

2. Yelin N. N. Programmnyy kompleks OIS PIPE dlya matematicheskogo modelirovaniya slozhnykh truboprovodnykh sistem promyslovogo obustroystva [OIS PIPE software package for mathematical modeling of complex pipeline

systems of field facilities]. *Neftyanoye khozyaystvo*, 2008, issue 5, pp. 65–69.

3. Lur'ye M. V. *Matematicheskoye modelirovaniye protsessov truboprovodnogo transporta nefi, nefteproduktov i gaza* [Mathematical modeling of the processes of pipeline transportation of oil, oil products and gas]. Moscow: Izd. Tsentra RGU nefi i gaza im. I. M. Gubkina, 2012. 456 p.

4. Kutsova Ye. V., Serdyukov S. G., Vasil'yev Ye. M. *Matematicheskoye modelirovaniye avariynykh rezhimov magistral'nykh gazoprovodov* [Mathematical modeling of emergency modes of main gas pipelines]. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 2011, T. 7, issue 9, pp. 17–21.

5. Lur'ye M. V. *Ekspertiza utechek gaza iz rezervuarov s vysokim davleniyem* [Expertise of gas leaks from high-pressure tanks]. *Territoriya neftegaz*, 2014, issue 4, pp. 52–57.

6. Lur'ye M. V. *Ekspertiza poter' nefi i gaza pri avariakh na truboprovodakh* [Expertise of oil and gas losses in case of pipeline accidents]. *Ekspert-kriminalist*, 2004, issue 2, pp. 7–13.

7. Lur'ye M. V., Naydenov R. A. *Utochnennyi raschet utechek gaza cherez otverstiya v stenkakh gazoprovodov vysokogo davleniya* [Refined calculation of gas leaks through holes in the walls of high-pressure gas pipelines]. *Gazovaya promyshlennost'*, 2014, issue 8 (710), pp. 82–85.

8. Kirillin V. A., Sychev V. V., Sheyndlin A. Ye. *Tekhnicheskaya termodinamika* [Technical thermodynamics]. Moscow: Energoatomizdat, 1983. 512 p.

9. Abrosimov Yu. G. *Gidravlika* [Hydraulics]. Moscow: Akademija GPS MChS Rossii, 2017. 321 p.

10. Rid R., Prausnitz Dzh., Shervud T. *Svoystva gazov i zhidkostey: Spravochnoye posobiye* [Properties of Gases and Liquids: A Reference Guide]. Leningrad: Khimiya, 1982. 592 p.

11. Brill J. P., Mukherjee H. *Multiphase flow in wells*. Henry L. Doherty Fund of AIME Society of Petroleum Engineers Inc. Richardson. Texas, 1999. 157 p.

12. Lur'ye M. V., Neklyayev A. V. *Ob odnom opasnom yavlenii, soprovozhdayushchem istecheniye gaza iz gazoprovoda* [One Dangerous Phenomenon Accompanying Gas Outflow from a Gas Pipeline]. *Gazovaya promyshlennost'*, 2008, issue 1, pp. 82–83.

Куликов Илья Михайлович

Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,
Российская Федерация, г. Иваново

адъюнкт адъюнктуры

E-mail: kafppv@mail.ru

Kulikov Ilya Mikhailovich

Federal State Budget Educational Establishment of Higher Education «Ivanovo Fire Rescue Academy of State Firefighting Service of Ministry of Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters»,

Russian Federation, Ivanovo

adjunct of the adjunct

E-mail: kafppv@mail.ru

Бубнов Владимир Борисович

Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,
Российская Федерация, г. Иваново

кандидат технических наук, доцент

E-mail: kafppv@mail.ru

Bubnov Vladimir Borisovich

Federal State Budget Educational Establishment of Higher Education «Ivanovo Fire Rescue Academy of State Firefighting Service of Ministry of Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters»,

Russian Federation, Ivanovo

candidate of technical sciences, associate professor

E-mail: kafppv@mail.ru

Ширяев Евгений Викторович

Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,
Российская Федерация, г. Иваново

преподаватель

E-mail: shiryaevev@bk.ru

Shiryayev Evgeny Viktorovich

Federal State Budget Educational Establishment of Higher Education «Ivanovo Fire Rescue Academy of State Firefighting Service of Ministry of Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters»,

Russian Federation, Ivanovo

lecturer

E-mail: shiryaevev@bk.ru

УДК 614.842.847

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ И ПРАКТИКИ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ГОСУДАРСТВЕННОГО ПОЖАРНОГО НАДЗОРА В ПЕРИОД ВОЕННОГО ВРЕМЕНИ

С. С. ЛАПШИН*, **А. В. ГАНИНА****, **А. М. МОЧАЛОВ***, **Е. П. КОНОВАЛЕНКО***

*Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,
Российская Федерация, г. Иваново

**11 пожарно-спасательный отряд ФПС ГПС ГУ МЧС России по Республике Татарстан,
Российская Федерация, Республика Татарстан, Альметьевский муниципальный район,
г. Альметьевск, ул. Аминова, 5.

E-mail: wfxdfx@gmail.com, ganinaalena2606@gmail.com, anton.mochalov.93@mail.ru, zedzero@mail.ru

Рассмотрены вопросы осуществления государственного пожарного надзора в период военного времени. Отмечается, что в мирное время специалисты подразделений надзорной деятельности выполняют государственную функцию по проведению плановых и внеплановых проверок юридических лиц, индивидуальных предпринимателей, физических лиц – правообладателей, органов государственной власти, органов местного самоуправления на предмет соблюдения требований пожарной безопасности, а также проводят мероприятия, направленные на профилактику пожаров, в соответствии с регламентами, утвержденными нормативными правовыми актами. Рассмотрены мероприятия, проводимые в целях обеспечения пожарной безопасности, в период войны 1812 года и Великой Отечественной войны 1941-1945 гг., так как самоотверженная служба сотрудников государственного пожарного надзора в период военного времени, позволила предотвратить массовую гибель людей от пожаров. Отмечается, что часть документов, регламентирующих осуществление контрольно-надзорной функции государства в период военного времени, как правило, имеют гриф «Для служебного пользования». Приведены перечни работ, регламентированные нормативными правовыми актами, для проведения в период военного времени на современном этапе развития гражданской обороны.

Ключевые слова: пожар; надзор; военное время; гражданская оборона; планирование.

RESEARCH OF METHODS AND PRACTICES OF IMPLEMENTING STATE FIRE SUPERVISION DURING WAR TIME

S. S. LAPSHIN*, **A. V. GANINA****, **A. M. MOCHALOV***, **E. P. KONOVALENKO***

*Federal State Budget Educational Establishment of Higher Education

«Ivanovo Fire Rescue Academy of State Firefighting Service of Ministry of Russian Federation
for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters»,
Russian Federation, Ivanovo

**Fire and Rescue Squad of the Federal Fire Service of the State Fire Service of the Main Department of the Ministry of the Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters of the Republic of Tatarstan.

Russian Federation, Republic of Tatarstan, Almetyevsk municipal district, Almetyevsk, st. Aminova, 5.

E-mail: wfxdfx@gmail.com, ganinaalena2606@gmail.com, anton.mochalov.93@mail.ru, zedzero@mail.ru

The issues of the implementation of state fire supervision during the wartime period are considered. In peacetime, specialists of the supervisory department perform the state function of conducting scheduled and unscheduled inspections. It is noted that inspector has the right to conduct inspections of legal entities, individual entrepreneurs, individuals - rightholders, state authorities, local authorities on compliance with fire safety requirements. In addition, inspectors carry out activities aimed at preventing fires in accordance with the provisions approved by regulatory legal acts. The measures taken to ensure fire safety during the war of 1812 and the Great Patriotic War of 1941-1945 are considered. The self-sacrificing service of specialists of the state fire control during the war period prevented the mass death of people from fires. Some of the documents governing the implementation of the control and supervisory function of the state during wartime are

marked "Restricted". The lists of work regulated by normative legal acts for conducting during the war period at the present stage of development of civil defense are given.

Key words: fire; supervision; wartime; civil defense; planning.

Органы государственного пожарного надзора РФ (ГПН) занимаются общественной деятельностью по организации и проведению проверок деятельности организаций и граждан, состояния эксплуатируемых ими объектов надзора в части соблюдения требований в области пожарной безопасности.

За счет добросовестного выполнения служебных обязанностей сотрудниками ГПН, достигается снижение количества пожаров, как на всей территории страны в целом, так и на территории отдельного субъекта.

Государственные инспектора по пожарному надзору наделены полномочиями по возбуждению и рассмотрению дел об административных правонарушениях в области пожарной безопасности, согласно ст. 23.34 и ч. 1 ст. 28.3¹.

При организации работы в повседневном режиме, специалисты органов надзорной деятельности выполняют государственную функцию по проведению плановых и внеплановых проверок юридических лиц, индивидуальных предпринимателей, физических лиц – правообладателей, органов государственной власти, органов местного самоуправления на предмет соблюдения требований пожарной безопасности, а также проводят мероприятия, направленные на профилактику пожаров, согласно алгоритму действий, регламентированному законодательством РФ.

Стоит отметить тот факт, что в целом все органы управления, учреждения и организации МЧС России, осуществляют свою деятельность в условиях мирного времени, военного времени, чрезвычайного положения, либо в режиме чрезвычайной ситуации (повышенной готовности).

В Министерстве Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий предусмотрен строго регламентированный порядок действий сил и средств, на случай введения режима «военного положения» на территории РФ. Под военным положением, в законодательстве РФ, понимается особый правовой режим, вводимый на территории РФ или отдельных ее местностях Президентом РФ в соответствии с Конституцией РФ в случае агрессии против РФ или непосредственной угрозы агрес-

сии^{2,3}. Под чрезвычайным положением понимается вводимый в соответствии с Конституцией РФ и Федеральным конституционным законом «О чрезвычайном положении» на всей территории РФ или в ее отдельных местностях особый правовой режим деятельности органов государственной власти, органов местного самоуправления, организаций независимо от организационно-правовых форм и форм собственности, их должностных лиц, общественных объединений, допускающий отдельные ограничения прав и свобод граждан РФ, иностранных граждан, лиц без гражданства, прав организаций и общественных объединений, а также возложение на них дополнительных обязанностей⁴.

В режиме чрезвычайной ситуации (повышенной готовности) сотрудниками органов ГПН проводится ряд дополнительных мероприятий, таких как рейды по территории с целью контроля выполнения гражданами, организациями и органами власти дополнительных установленных требований. Следует отметить, что такие рейды, как правило, проводятся совместно с представителями других ведомств (МВД РФ, орган исполнительной власти, осуществляющий функции в сфере деятельности войск национальной гвардии РФ). Это связано с тем, что часть видов мер процессуального обеспечения в производстве по делам об административных правонарушениях, таких как административное задержание и доставление, должностные лица органов ГПН не уполномочены применять самостоятельно. В то же время, применение подобных мер процессуального обеспечения может быть необходимым условием для возбуждения производства по делу об административном правонарушении. Привлечение к рейдам сотрудников органов внутренних дел (полиции) позволит исполнить государственную функцию по надзору за соблюдением требований своевременно и в полном объеме.

Определенную трудность при изучении вопроса представляет также то, что документы, регламентирующие осуществление контрольно-надзорной функции государства в пе-

¹ Федеральный закон от 30.12.2001 № 195-ФЗ «Кодекс об административных правонарушениях».

² Федеральный конституционный закон от 30.01.2002 N 1-ФКЗ «О военном положении».

³ Федеральный закон от 12.02.1998 № 28-ФЗ «О гражданской обороне».

⁴ Федеральный конституционный закон от 30.05.2001 № 3-ФКЗ «О чрезвычайном положении».

риод военного времени, как правило, имеют гриф «Для служебного пользования». Поэтому, для уяснения функций надзорных органов в период военного времени, необходимо изучить исторические события и проанализировать, как осуществлялся государственный пожарный надзор в период военных действий в Союзе Советских Социалистических Республик (СССР), а также какие профилактические мероприятия (аналогичные пожарному надзору) проводились на досоветском пространстве.

В начале XIX века в период существования Российской империи впервые начали развиваться направления борьбы с пожарами, которые впоследствии вошли в полномочия органов государственного пожарного надзора.

Историками был отмечен тот факт, что в годы Отечественной войны 1812 года силами пожарных команд осуществлялись следующие действия [2]:

- проводилась профилактика пожаров;
- разрабатывались единые правила охраны от пожаров для всех видов населенных пунктов;
- свое развитие получило направление, связанное со статистическим учетом пожаров;
- было создано первое страховое общество от пожаров.

После пожара 1812 года на государственном уровне стали запрещать строить дома из древесины без огнезащитной обработки (оштукатуривания глиной) [8]. То есть применялись характерные для деятельности государственных структур методы принуждения и дозволения. Тем не менее, автор работы [5] отмечает, что в конце XIX века в городах России отсутствовал единый подход к обеспечению пожарной безопасности со стороны органов местного самоуправления. Государственный пожарный надзор, как орган управления, отсутствовал. Первые шаги к его становлению были сделаны в результате принятия Положения «Об органах государственного пожарного надзора РСФСР» 18 июня 1927 года, в котором были определены функции и структура пожарной охраны страны.

Следующим этапом в формировании системы ГПН и ее функционировании в военное время стал период Великой Отечественной войны 1941-1945 годов. Военное положение в годы ВОВ было объявлено указом Президиума Верховного Совета, на основании 49 пункта Конституции СССР 22 июня 1941 года. Все органы управления, силы и средства подразделений пожарной охраны, а также органы государственного пожарного надзора были переведены на особый режим функционирования.

В годы Великой Отечественной войны также продолжалась подготовка инженеров противопожарной службы, формирование подразделений добровольцев (комсомольско-молодежный полк противопожарной обороны) [1].

В полномочия вышеуказанных лиц, в годы Великой Отечественной войны входили следующие действия:

- проведение обследований и проверок производственных объектов на соблюдение правил пожарной безопасности, составление актов нарушений⁵ – надзорные методы [3];
- разработка и внесение предложений по огнезащитной обработке функционирующих промышленных объектов, а также жилых домов (чердаков), не соответствующих требованиям пожарной безопасности;
- разработка предложений по увеличению противопожарных разрывов между зданиями и сооружениями за счет сноса временных построек – метод установления правил поведения в области пожарной безопасности [3];
- разработка предложений по увеличению количества пожарных колодцев (водоемов)⁶;
- обучение населения основам тушения зажигательных бомб [6];
- разъяснение правил пожарной безопасности в условиях военного времени.

Инспектора пожарного надзора имели право применять наказания в виде административных штрафов (методы реагирования [3]), в размере от 300 рублей, за нарушения требований пожарной безопасности, в соответствии с Постановлением СНК СССР от 13 сентября 1942 года «Об ответственности за нарушение правил пожарной безопасности» (для сравнения, летом 1943 года в тылу среднемесячная зарплата рабочих составляла 403 рубля [4]).

Решались также сложные инженерные задачи. Например, в условиях нехватки строительных материалов, приходилось размещать цеха и склады в непригодных помещениях. При этом вынужденно приходилось отступать от противопожарных норм и правил, для компенсации которых требовались решения, отличные от стандартных решений мирного времени [7].

За счет работ, проведенных сотрудниками государственного пожарного надзора, в период военного времени, удалось предотвратить массовую гибель людей от пожаров. Таким образом, рассмотрев опыт прошлых лет, можно сделать вывод о том, что специалисты органов государственного пожарного надзора

⁵ ГКУ РХ Национальный архив. Ф.335.Д.11.Л.23,27,78.

⁶ ГКУ РХ Национальный архив. Ф.335.Д.11.Л.2.

внесли весомый вклад в победу в Великой Отечественной Войне 1941-1945 гг.

Со времен Великой Отечественной войны, произошло обновление нормативно-правовой базы, регламентирующей порядок функционирования систем, обеспечивающих безопасность страны в военное время. Именно поэтому, существует необходимость в исследовании современной нормативно-правовой литературы, с целью выяснения порядка функционирования государственного пожарного надзора при введении военного положения.

Деятельность по защите населения, материальных и культурных ценностей в период военных конфликтов осуществляется системой гражданской обороны, к силам и средствам которой, в соответствии со ст. 15 Федерального закона⁷, относятся подразделения государственной противопожарной службы. В свою очередь, к подразделениям ГПС, согласно ст. 5 Федерального закона⁸ относятся органы государственного пожарного надзора. Планирование порядка действий сил и средств системы гражданской обороны осуществляется на основании Приказа МЧС России⁹. План гражданской обороны, является основополагающим документом, содержащим в себе перечень мероприятий по приведению в готовность сил гражданской обороны при переводе с мирного на военное время. Его структура состоит из 3 основных разделов:

1. краткая оценка возможной обстановки;
2. выполнение мероприятий по гражданской обороне при приведении в готовность;
3. выполнение мероприятий по гражданской обороне при внезапном нападении противника.

Во втором разделе плана гражданской обороны отображаются мероприятия 1, 2 и 3 очереди по ГО, а также мероприятий по гражданской обороне, выполняемых по решению Президента РФ и Правительства РФ, осуществляемых в соответствии с требованиями Постановления Правительства РФ¹⁰.

⁷ Федеральный закон от 12.02.1998 № 28-ФЗ «О гражданской обороне».

⁸ Федеральный закон от 21.12.1994 № 69-ФЗ «О пожарной безопасности».

⁹ Приказ МЧС России от 16.02.2012 № 70 «Об утверждении Порядка разработки, согласования и утверждения планов гражданской обороны и защиты населения (планов гражданской обороны)».

¹⁰ Постановление Правительства РФ от 03.06.2011 № 437-13 «О некоторых вопросах гражданской обороны в Российской Федерации».

Следует отметить тот факт, что к мероприятиям по гражданской обороне второй очереди относятся следующие действия, входящие в ведение ГПН:

- проведение проверок соблюдения установленных пожарных разрывов между зданиями и сооружениями;
- осуществление контроля за наличием и состоянием средств пожаротушения.

В соответствии с Постановлением Правительства РФ¹¹ основными мероприятиями по гражданской обороне, осуществляемыми в целях решения задачи, связанной с борьбой с пожарами, возникшими при военных конфликтах или вследствие этих конфликтов, являются:

- создание необходимых противопожарных сил, их оснащение материально-техническими средствами и подготовка в области гражданской обороны;
- тушение пожаров в районах проведения аварийно-спасательных и других неотложных работ в военное время;
- тушение пожаров на объектах, отнесенных в установленном порядке к категориям по гражданской обороне, в военное время.

Данный перечень предлагается уточнить [9], учитывая, что противопожарного обеспечения требуют и другие задачи гражданской обороны:

- эвакуация населения, материальных и культурных ценностей в безопасные районы;
- обеспечение устойчивости функционирования организаций, необходимых для выживания населения при военных конфликтах или вследствие этих конфликтов, а также при чрезвычайных ситуациях природного и техногенного характера.

Таким образом, профилактика пожаров, подготовка инженерных кадров, организация контрольно-надзорной деятельности в области обеспечения пожарной безопасности на период военного времени является неотъемлемой частью подготовки к ведению и ведения гражданской обороны в Российской Федерации.

¹¹ Постановление Правительства РФ от 26.11.2007 № 804 «Об утверждении Положения о гражданской обороне в Российской Федерации».

Список литературы

1. Абрамов В. А., Глуховенко Ю. М., Сметанин В. Ф. История пожарной охраны. Краткий курс. Часть 1. М.: Академия ГПС МЧС России, 2005. 285 с.

2. Авдеева А. А. Становление системы пожарной безопасности в Российской Империи первой четверти XIX в. (на материалах Московской и Смоленской губерний): автореферат дис. ... канд. ист. наук: 07.00.02. Брянск, 2018. 22 с.

3. Евдокимов А. С. Административно-правовые методы осуществления государственного пожарного надзора за обеспечением первичных мер пожарной безопасности // Правовая культура, №1(12). Саратов, 2012. С. 169–172.

4. Леонтьева Т. Какие денежные выплаты получали на фронте и как их тратили [Электронный ресурс] // Российская газета, 04.05.2020. Режим доступа: <https://rg.ru/2020/05/04/kakie-denezhnye-vyplaty-poluchali-na-fronte-i-kak-ih-tratili.html>.

5. Новичкова Н. Ю. Состояние финансового обеспечения российских пожарных команд в конце XIX в. // Ярославский педагогический вестник, №4. Том I (Гуманитарные науки), 2013. С. 32–35.

6. Пожарная охрана в годы Великой Отечественной войны. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://fireman.club/statyi-polzovateley/pozharnaya-oxrana-v-gody-velikoj-otechestvennoj-vojny/>.

7. Пожарно-техническая выставка Челябинская область: история. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://вдпо.рф/region/35/history>.

8. Собурь С. В. Огнезащита материалов и конструкций: Справочник. 3-е изд. (с изм.). М.: Пожкнига, 2004. 240 с.

9. Федотов С. Б. Предложения по базовым проблемам обеспечения готовности пожарной охраны к функционированию в мирное и военное время // История пожарной охраны и современная пожарная охрана: сборник материалов международной научно-практической конференции. М.: Академия ГПС МЧС России, 2016. С. 135–138.

MCHS Rossii, 2005, 285 p.

2. Avdeeva A. A. Stanovlenie sistemy pozharnoj bezopasnosti v Rossijskoj Imperii pervoj chetverti XIX v. (na materialah Moskovskoj i Smolenskoj gubernij). Avtoreferat dis. kand. ist. nauk. [Formation of a fire safety system in the Russian Empire in the first quarter of the 19th century (based on materials from the Moscow and Smolensk provinces). Author's thesis: avtoref. dis. kand. ist. nauk]. Bryansk, 2018, 22 p.

3. Evdokimov A. S. Administrativno-pravovye metody osushchestvleniya gosudarstvennogo pozharnogo nadzora za obespecheniem pervichnyh mer pozharnoj bezopasnosti [Administrative and legal methods for the implementation of state fire supervision over the provision of primary fire safety measures]. *Pravovaya kul'tura*, vol. 1(12). Saratov, (2012), pp. 169–172.

4. Leont'eva T. Kakie denezhnye vyplaty poluchali na fronte i kak ih tratili [What cash payments were received at the front and how they were spent]. *Rossijskaya gazeta*, 2020. <https://rg.ru/2020/05/04/kakie-denezhnye-vyplaty-poluchali-na-fronte-i-kak-ih-tratili.html>.

5. Novichkova N. Yu. Sostoyanie finansovogo obespecheniya rossijskih pozharnyh komand v konce XIX v [The state of financial support for Russian fire brigades at the end of the 19th century]. *Yaroslavskij pedagogicheskij vestnik*, issue 4, Vol. I (Humanitarian sciences), 2013, pp. 32–35.

6. *Pozharnaya ohrana v gody Velikoj Otechestvennoj vojny* [Fire service during the Great Patriotic War]. <https://fireman.club/statyi-polzovateley/pozharnaya-oxrana-v-gody-velikoj-otechestvennoj-vojny/>.

7. *Pozharno-tekhnicheskaya vystavka Chelyabinskaya oblast': istoriya* [Fire-technical exhibition Chelyabinsk region: history]. available at: <http://вдпо.рф/region/35/history>.

8. Sobur' S. V. Ogneshchita materialov i konstrukcij: Spravochnik [Fire protection of materials and structures: Handbook]. М.: *Pozhkniga*, 2004, 240 p.

9. Fedotov S. B. Predlozheniya po bazovym problemam obespecheniya gotovnosti pozharnoj ohrany k funkcionirovaniyu v mirnoe i voennoe vremya [Suggestions on the basic problems of ensuring the preparedness of the fire service for operation in peacetime and wartime]. *Istoriya pozharnoj ohrany i sovremennaya pozharnaya ohrana: sbornik materialov mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii*, М.: Akademiya GPS MCHS Rossii, 2016, pp. 135–138.

References

1. Abramov V. A., Gluhovenko, Yu. M., Smetanin V. F. *Istoriya pozharnoj ohrany. Kratkij kurs. CHast' 1* [History of the fire department. Short course. Part 1]. Moscow, Akademiya GPS

Лапшин Сергей Сергеевич

Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,
Российская Федерация, г. Иваново
старший преподаватель кафедры
E-mail: wfxdfx@gmail.com

Lapshin Sergey Sergeevich

Federal State Budget Educational Establishment of Higher Education «Ivanovo Fire Rescue Academy of State Firefighting Service of Ministry of Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters»,
Russian Federation, Ivanovo
senior lecturer of the department
E-mail: wfxdfx@gmail.com

Ганина Алёна Владимировна

11 пожарно-спасательный отряд ФПС ГПС ГУ МЧС России по Республике Татарстан
старший диспетчер центрального пункта пожарной связи службы пожаротушения
E-mail: ganinaalena2606@gmail.com

Ganina Alyona Vladimirovna

Fire and Rescue Squad of the Federal Fire Service of the State Fire Service of the Main Department of the Ministry of the Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters of the Republic of Tatarstan
Russian Federation, Republic of Tatarstan
senior dispatcher of the central fire communication center of the fire extinguishing service
E-mail: ganinaalena2606@gmail.com

Мочалов Антон Михайлович

Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,
Российская Федерация, г. Иваново
старший преподаватель кафедры
E-mail: anton.mochalov.93@mail.ru

Mochalov Anton Mihajlovich

Federal State Budget Educational Establishment of Higher Education «Ivanovo Fire Rescue Academy of State Firefighting Service of Ministry of Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters»,
Russian Federation, Ivanovo
senior lecturer of the department
E-mail: anton.mochalov.93@mail.ru

Коноваленко Евгений Петрович

Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,
Российская Федерация, г. Иваново
начальник кафедры
E-mail: zedzero@mail.ru

Konovalenko Evgenij Petrovich

Federal State Budget Educational Establishment of Higher Education «Ivanovo Fire Rescue Academy of State Firefighting Service of Ministry of Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters»,
Russian Federation, Ivanovo
head of department
E-mail: zedzero@mail.ru

УДК 614.841.315

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ИНФОРМАЦИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ НАДЗОРНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ МЧС РОССИИ «МОБИЛЬНЫЙ ПОМОЩНИК ИНСПЕКТОРА ГПН»

А. М. МОЧАЛОВ, Е. А. ШВАРЕВ, Е. П. КОНОВАЛЕНКО

Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,
Российская Федерация, г. Иваново

E-mail: anton.mochalov.93@mail.ru, e_shvarev@inbox.ru, zedzero@mail.ru

Обеспечение пожарной безопасности является одной из основных задач МЧС России. Над решением данной задачи работают в том числе и сотрудники надзорных органов МЧС России. Государственные инспектора организуют и проводят проверки соблюдения требований пожарной безопасности на объектах защиты, профилактическую и разъяснительную работу с гражданами, а также ведут активную пропаганду соблюдения требований пожарной безопасности через средства массовой информации.

Однако, при выполнении своих служебных обязанностей сотрудники органов государственного пожарного надзора сталкиваются с рядом проблем. Одной из таких проблем является необходимость одновременного решения нескольких задач. Нередко, данная проблема усугубляется недостатком личного состава: в некоторых подразделениях количество сотрудников не соответствует даже штатному расписанию подразделения. Из-за большого объема работы и режима многозадачности, сотрудник может пропустить срок выполнения того или иного мероприятия, следовательно, возникают ошибки при выполнении административных процедур, что отрицательно влияет в целом на процесс исполнения государственной функции.

С целью оказания помощи сотрудникам органов ГПН разработано мобильное приложение, позволяющее инспектору ГПН повысить качество планирования своей работы. Планирование работы с помощью разработанного приложения будет способствовать снижению количества мероприятий выполненных с нарушениями.

Ключевые слова: государственный пожарный надзор, планирование времени, мобильное приложение, информационно-методическое обеспечение надзорной деятельности МЧС России.

DEVELOPMENT OF THE INFORMATION SUPPORT SYSTEM FOR THE SUPERVISORY ACTIVITIES OF THE EMERCOM OF RUSSIA «MOBILE ASSISTANT TO THE INSPECTOR OF THE STATE EMERGENCY SERVICE»

A. M. MOCHALOV, E. A. SHVAREV, E. P. KONOVALENKO

Federal State Budget Educational Establishment of Higher Education
«Ivanovo Fire Rescue Academy of State Firefighting Service of Ministry of Russian Federation
for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters»,
Russian Federation, Ivanovo

E-mail: anton.mochalov.93@mail.ru, e_shvarev@inbox.ru, zedzero@mail.ru

Employees of the Ministry of Emergency Situations of Russia work daily to achieve a high level of fire safety in the Russian Federation. This is also the merit of the officials of the supervisory bodies of the EMERCOM of Russia. State inspectors organize and conduct inspections of compliance with fire safety requirements at protection facilities, conduct preventive and explanatory work with citizens, and actively promote compliance with fire safety requirements through the mass media.

However, when performing their official duties, employees of the state fire supervision bodies often face various problems. One of these problems is the need to simultaneously solve several tasks. Often, this problem is compounded by a lack of personnel: in some units, the number of employees does not even cor-

respond to the staffing table of the unit. Due to the large amount of work and multitasking mode, an employee may miss a deadline

Key words: state fire supervision, time planning, mobile application, information and methodological support for the supervisory activities of the EMERCOM of Russia.

Планирование задач является важным аспектом в любой сфере деятельности человека. Планирование – закономерный результат поиска человеческим обществом наиболее рациональных и эффективных инструментов и способов своего исторического развития и выживания.

Процесс планирования дает возможность объединить задачи, продумывать действие на определенное время вперед, осуществлять полноценный сбор информации, получить высокий коэффициент полезного действия.

С появлением мобильных коммуникационных устройств в повседневной жизнедеятельности каждого городского жителя произошло увеличение количества и качества выполняемых им задач. Как бы ни была хороша память человека – некоторые важные моменты могут быть упущены, забыты, безвозвратно утрачены. Ежедневная обработка массива информации – современная реальность жителя городской среды. Психологи рекомендуют составлять списки задач, носить ежедневники и последовательно фиксировать информацию, имеющую значение для «выживания». Однако в наш век – век цифровых технологий, следует обратить внимание на электронные устройства не только как на средства развлечения и коммуникации, но и как на карманных помощников в достижении указанных целей.

Возможность применения мобильных электронных средств сбора и обработки информации с целью определения предметной деятельности органов государственного пожарного надзора была изучена и описана в 2007 году в работе [1]. В 2011 году в МЧС России началась работа по разработке интегрированной информационной системы для МЧС России.

В работе [2] приведены преимущества цифровизации государственного пожарного надзора. Актуальность применения автоматизированных информационных систем с целью улучшения работы надзорных органов МЧС России отмечается в работе [3]. Разработка информационно-аналитической системы поддержки деятельности должностных лиц органов ГПН ведется и в настоящее время [4].

Планирование деятельности касается и сотрудников органов государственного пожарного надзора (далее – ГПН). Государственные инспекторы изучают нормативные документы

по пожарной безопасности, планируют ход проведения выездной проверки, внесение информации в единый реестр проверок, проведение консультаций граждан по вопросам обеспечения пожарной безопасности.

Исполнение обязанностей должностного лица органа ГПН усложняется необходимостью составления отчетов о проделанной работе. Ввиду неравномерности постановки задач, которые должен решать инспектор государственного пожарного надзора, допускаются ошибки при заполнении форм документов, неправильный выбор периодичности или расчет сроков проведения проверок. Анализ документов по административной практике в области пожарной безопасности, размещенных на сайте [5] за период с 2019 по 2020 год, показал, что за указанный период выявлено наличие 1247 решений по отмене постановлений о назначении административного наказания в результате нарушения сроков проведения проверок. Основными замечаниями являются: уведомление организаций инспекторами ГПН в нарушение сроков, установленных административным регламентом¹, а также превышение сроков нахождения на проверяемых объектах защиты. Повышение качества планирования деятельности может решить данную проблему. Применение неавтоматизированных способов (ведение записей в блокнотах и ежедневниках) не всегда является эффективным, вследствие того, что фиксирование информации пишущей ручкой происходит гораздо медленнее голосового ввода, а произвести запись задачи в условиях движения (например, в автотранспорте) является практически невыполнимой задачей, к тому же объем нормативных правовых актов в распечатанном виде просто не поместится в портфель сотрудника.

Учитывая, что современные цифровые технологии в настоящее время являются наиболее доступными, авторами предложено создание и внедрение интеллектуального по-

¹ Приказ МЧС России от 30.11.2016 № 644 «Об утверждении Административного регламента Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий исполнения государственной функции по надзору за выполнением требований пожарной безопасности».

мощника — приложения, применение которого призвано облегчить службу государственных инспекторов по пожарному надзору.

По результатам опроса сотрудников ГПН ФПС ГПС МЧС России Кировской области было установлено, что часть сотрудников в своей служебной деятельности использует различные мобильные приложения с целью ее планирования, что свидетельствует о востребованности данных приложений. Однако, инспекторами было отмечено, что функции, которые предоставляют приложения используются не в полном объеме и лишь малая часть из них пригодна для непосредственной деятельности сотрудников органов ГПН.

Основными критериями для использования таких приложений являются: простота в использовании, понятный интерфейс, стабильная работа и ориентированность на служебную деятельность.

Таким образом, необходимо наличие такого приложения, которое способно напоминать сотруднику о необходимости выполнения какого-либо действия, при этом достаточно простое в использовании, без лишних возможностей, ориентированное непосредственно на служебную деятельность.

Учитывая вышеизложенное, у авторского коллектива возникла идея разработки мобильного приложения, которое реализовано на принципах приложений-планировщиков, объединяющее в себя все их преимущества и ориентированность на надзорную деятельность. При разработке приложения был взят ориентир на следующие критерии:

- 1) простота в использовании;
- 2) интуитивно понятный интерфейс;
- 3) совместимость с устройствами на операционной системе Android;
- 4) наличие отдельного архива;
- 5) ориентированность на деятельность инспекторов государственного пожарного надзора.

В качестве целевой платформы был выбран Android. Выбор данной платформы обусловлен результатами опроса, проведенного среди действующих сотрудников МЧС России. Результаты проведенного опроса свидетельствуют, что наибольшее предпочтение отдается мобильным устройствам, работающим на операционной системе Android. В качестве среды разработки была выбрана среда «Visual Studio 2017» с установленным пакетом «Xamarin Forms». Пакет «Xamarin Forms» позволяет разрабатывать кроссплатформенные мобильные приложения, выделяя платформенно-независимый код в отдельный модуль. Благодаря этому, если появится необходимость разработки для устройств под управле-

нием iOS и других мобильных операционных систем, адаптация приложения под эти платформы будет намного проще. В качестве языка программирования был выбран «С#». «Пакет С#» удобно реализуется в среде «Visual Studio» и подходит для написания платформенно-независимого кода. Кроме того, в разработке были использованы пакеты «SQLite-net», реализующий работу баз данных, и «Xam.Plugins.Notifier», упрощающий работу с системными уведомлениями.

Приложение было решено оформить в страничном представлении. Загружаемые страницы формируют стек, работающий по принципу «LIFO» (последний зашел – первый вышел). Таким образом, навигация между страницами значительно упрощается за счет встроенного в операционную систему механизма возврата на предыдущую страницу.

На первом этапе разработки был создан прототип, реализующий список проверок, а также функционал для их создания, сохранения и редактирования. На этом этапе основной проблемой стало создание хранилища данных, не зависящего от работы приложения. Для его реализации было решено использовать базу данных, а взаимодействие с ней – посредством пакета «SQLite-net». Итоговая реализация не только решила проблему, но и легла в основу остальных баз данных, использованных в приложении.

На втором этапе разработки функционал прототипа был значительно расширен. Помимо проверок, был добавлен раздел административной практики. Её задачи также сохранялись в свою базу данных. Кроме того, были добавлены архивы проверок и административной практики. Архивы этих разделов для удобства представления представляли собой отдельные базы данных. Функционал архивов отличался от обычных разделов: архивированные элементы нельзя было редактировать, зато можно было восстановить и удалить полностью. Наиболее трудоёмкой задачей был перенос объекта из раздела в архив. Но, благодаря средствам управления базами данных в SQLite, больших осложнений это не вызвало.

Основным нововведением третьего этапа разработки стали системные уведомления, напоминающие пользователю о текущих проверках. Функционал был сделан таким образом, чтобы пользователь сам выставлял удобное для него время напоминания, после чего в назначенный срок получал уведомление с указанием наименования объекта, к которому оно приписано. Работа с системными уведомлениями – трудоёмкий процесс, но благодаря пакету «Xam.Plugins.Notifier» трудозатраты

были минимизированы. Помимо уведомлений, новинкой стал раздел справочной информации по работе и взаимодействию с приложением.

Заключительный, четвёртый, этап работы был направлен на улучшение удобства работы с приложением, а также улучшение его внешнего вида. Была подобрана строгая цветовая гамма, а кнопки выбора разделов для наглядности были выполнены в виде изображений. Справочный раздел стал более аккуратным и полным, страницы редактирования задач и проверок обзавелись проверками ввода для минимизации ошибок среди пользователей. Кроме того, была создана основа для дальнейшего развития приложения в виде разделов «Профилактика» и «Работа с обращениями». Помимо общих правок в оформлении, интерфейс приложения стал адаптивным – то есть, получил возможность подстраиваться под дисплеи с различным разрешением.

На рис. 1-2 представлены скриншоты различных окон приложения в ходе работы с ним.



Рис. 1 Скриншот главного окна разработанного приложения

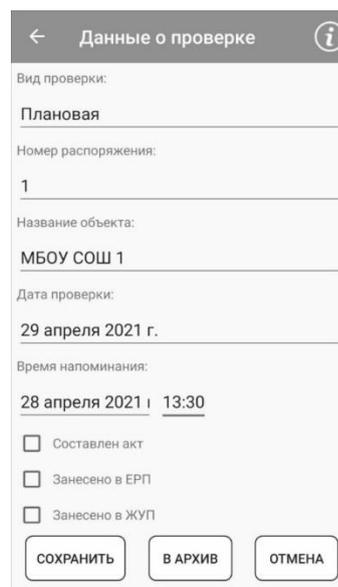


Рис. 2 Скриншот окна «Данные о проверке»

После разработки приложения, оно было успешно протестировано на различных мобильных устройствах с операционной системой Android. Для получения оповещений о напоминании предстоящей проверки, выбирались разные периоды для тестирования работоспособности. В приложении на данный момент активны окна «Проверки» и «Административная практика». Сотрудниками ОНДиПР города Кирова было отмечено удобство в использовании, а также интуитивно понятный интерфейс мобильного приложения.

Апробация разработанного приложения осуществлялась следующим образом. Были выбраны две группы обучающихся численностью по 30 человек каждая. На первом этапе обе группы прошли тестирование на определение знаний по дисциплине «Государственный пожарный надзор». Результаты тестирования показали, что данные группы обучающихся значительно не отличаются друг от друга по знаниям в области указанной дисциплины (средний балл 3,89 и 3,92 соответственно).

Затем, с обучающимися обеих групп было проведено практическое занятие, посвященное отработке порядка проведения плановой проверки объекта надзора. При этом первой группе было предложено установить разработанное мобильное приложение и выполнять задание с его помощью. Вторая группа должна была выполнить задание без использования мобильного приложения.

На рис. 3 и 4 приведены результаты выполнения заданий в двух группах.

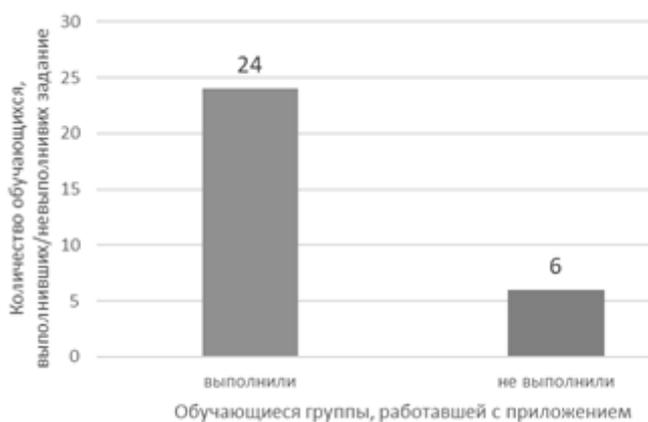


Рис. 3 Результаты выполнения задания обучающимися первой группы

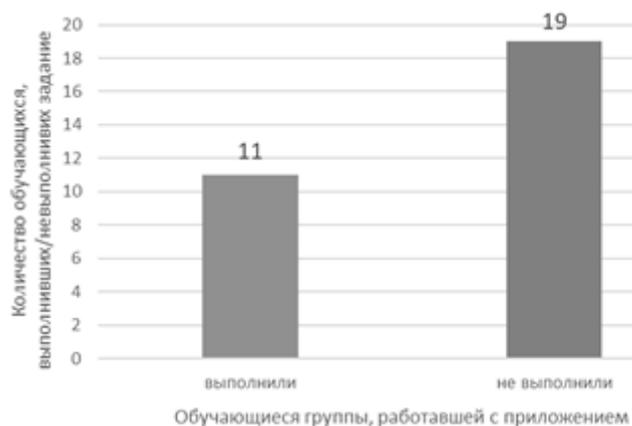


Рис. 4 Результаты выполнения задания обучающимися второй группы

Результаты проведенного исследования свидетельствуют, что подавляющее большинство обучающихся первой группы успешно справилось с заданием, в то время как большинство обучающихся второй группы задание не выполнили. Полученные результаты свидетельствуют, что использование разработанного приложения значительно снижает количество ошибок, допущенных в ходе выполнения административной функции по надзору и контролю.

Таким образом, полученные результаты позволяют утверждать, что внедрение разработанного мобильного приложения в повседневную деятельность сотрудников ГПН МЧС России будет способствовать повышению качества планирования и эффективности надзорных и контрольных мероприятий, а также снизит количество ошибок при выполнении соответствующих административных процедур.

Список литературы

1. Карпенко Д. Г. Организация проверок противопожарного состояния объектов при осуществлении государственного пожарного надзора: автореферат дис. ... канд. техн. наук: 05.13.10. Москва, 2007, 23 с.
2. Савенкова А. Е., Завьялов Д. Е., Шимов Д. Р. Применение цифровых технологий при обеспечении пожарной безопасности в работе надзорных органов // Электронный ресурс]. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/primeneniye-tsifrovyyh-tehnologiy-pri-obespechenii-pozharnoy-bezopasnosti-v-rabote-nadzornykh-organov/viewer> (дата обращения 10.05.2021).
3. Литвин М. В., Лукьянов Ю. Н., Радоуцкий В. Ю. Использование автоматизированной информационной системы сбора информации надзорными органами МЧС России // Вестник БГТУ им. В. Г. Шухова. Вып. № 2, 2016 С. 157–161.
4. Лапшин С. С. Разработка базы данных информационно-аналитической системы поддержки деятельности должностных лиц органов государственного пожарного надзора // Современные проблемы гражданской защиты Вып. 3 (36). 2020. С. 26–32.

5. Судебные и нормативные акты РФ // [Электронный ресурс]. URL: <https://sudact.ru> (дата обращения 01.04.2021).

References

1. Karpenko D. G. Organizatsiya proverok protivopozharnogo sostoyaniya ob"yektov pri osushchestvlenii gosudarstvennogo pozharnogo nadzora. Avtoreferat diss. kand. tekhn. nauk [Organization of inspections of the fire-fighting condition of objects in the implementation of state fire supervision. Kand. tekhn. nauk avtoreferat diss.]. M., 2007. 23 p.
2. Savenkova A. E., Zavyalov D. E., Shimov D. R. Primeneniye tsifrovyykh tekhnologiy pri obespechenii pozharnoy bezopasnosti v rabote nadzornykh organov [Application of digital technologies in ensuring fire safety in the work of supervisory authorities] URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/primeneniye-tsifrovyyh-tehnologiy-pri-obespechenii-pozharnoy-bezopasnosti-v-rabote-nadzornykh-organov/viewer> (accessed 10.05.2021).
3. Litvin M. V., Lukyanov Yu. N., Radoutsky V. Yu. Ispol'zovaniye avtomatizirovannoy informatsionnoy sistemy sbora informatsii nadzornymi organami MCHS Rossii [Use of the au-

tomated information system for collecting information by supervisory authorities of the Ministry of Emergency Situations of Russia] *Vestnik BSTU im. V. G. Shukhov*, Issue 2, 2016, pp. 157–161.

4. Lapshin S. S. Razrabotka bazy dannykh informatsionno-analiticheskoy sistemy podderzhki deyatelnosti dolzhnostnykh lits organov gosudarstvennogo pozharnogo nadzora

[Development of the database of the information and analytical system for supporting the activities of officials of the state fire supervision bodies]. *Sovremennyye problemy grazhdanskoy zashchity*, Issue 3 (36), 2020, pp. 26–32.

5. Judicial and regulatory acts of the Russian Federation // [Electronic resource]. URL: <https://sudact.ru> (accessed 01.04.2021).

Мочалов Антон Михайлович

Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,
Российская Федерация, г. Иваново

Старший преподаватель

E-mail: anton.mochalov.93@mail.ru

Mochalov Anton Mikhailovich

Federal State Budget Educational Establishment of Higher Education «Ivanovo Fire Rescue Academy of State Firefighting Service of Ministry of Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters»,
Russian Federation, Ivanovo

Teacher

E-mail: anton.mochalov.93@mail.ru

Шварев Евгений Анатольевич

Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,
Российская Федерация, г. Иваново

Доцент

E-mail: e_shvarev@inbox.ru

Shvarev Evgeny Anatolyevich

Federal State Budget Educational Establishment of Higher Education «Ivanovo Fire Rescue Academy of State Firefighting Service of Ministry of Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters»,
Russian Federation, Ivanovo

Docent

E-mail: e_shvarev@inbox.ru

Коноваленко Евгений Петрович

Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,
Российская Федерация, г. Иваново

Начальник кафедры

E-mail: zedzero@mail.ru

Konovalenko Evgeny Petrovich

Federal State Budget Educational Establishment of Higher Education «Ivanovo Fire Rescue Academy of State Firefighting Service of Ministry of Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters»,
Russian Federation, Ivanovo

head of the department

E-mail: zedzero@mail.ru

УДК 614.841.411:667.637

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ВОСПЛАМЕНЕНИЯ ДРЕВЕСИНЫ СОСНЫ, ОБРАБОТАННОЙ ОГНЕБИОЗАЩИТНЫМ СОСТАВОМ

С. Н. НАКОНЕЧНЫЙ, Н. М. ПАНЕВ, А. Л. НИКИФОРОВ, С. Н. УЛЬЕВА

Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,
Российская Федерация, г. Иваново
E-mail: serny@mail.ru

В настоящее время древесина хвойных пород является одним из основных конструктивных строительных материалов. Ее массовое применение обусловлено высокими эксплуатационными свойствами материала, доступностью и относительно невысокой стоимостью. Кроме перечисленных достоинств, древесина хвойных пород обладает и довольно серьезными недостатками – низкой биостойкостью и высокой пожарной опасностью. Поэтому для понимания процессов горения и дымообразования необходимо проводить исследования в целях установления показателей свойств пожарной опасности древесины различных пород. Это, в свою очередь, поможет привести к созданию средств огнезащиты различной природы, способных снизить показатели свойств пожарной опасности материалов на основе древесины. Настоящая работа посвящена изучению влияния разработанного огнебиозащитного состава на параметры воспламенения и самовоспламенения древесины сосны (критической поверхностной плотности теплового потока, при достижении которой инициируется сам процесс воспламенения и времени воспламенения) с использованием стандартной установки по определению групп воспламеняемости строительных материалов «ВСМ». Данная работа является продолжением исследований в области изучения процессов воспламенения и самовоспламенения древесины различных пород и оценки огнезащитной эффективности средств огнезащиты древесины.

Ключевые слова: время воспламенения, процесс воспламенения, древесина сосны, тепловой поток, огнебиозащитный состав.

THE DETERMINATION OF INDICATORS OF FLAMMATION OF PINE WOOD TREATED WITH FIRE PROTECTIVE COMPOSITION

S. N. NAKONECHNYI, N. M. PANEV, A. L. NIKIFOROV, S. N. ULIEVA

Federal State Budget Educational Establishment of Higher Education
«Ivanovo Fire Rescue Academy of State Firefighting Service of Ministry of Russian Federation
for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters»,
Russian Federation, Ivanovo
E-mail: serny@mail.ru

Nowadays, the softwood is one of the main structural building materials. Its widespread use is due to the high performance properties of the material, availability and relatively low cost. In addition to the listed advantages, coniferous wood also has rather serious disadvantages – low biostability and high fire hazard. Therefore, to understand the processes of combustion and smoke formation, it is necessary to conduct research in order to establish indicators of the properties of the fire hazard of wood of various species. This, in turn, will help lead to the creation of fire protection means of various natures that can reduce the indicators of the fire hazard properties of wood-based materials. This work is devoted to studying the effect of the developed fire-retardant composition on the parameters of ignition and self-ignition of pine wood (the critical surface density of the heat flux, upon reaching which the ignition process itself and the ignition time are initiated) using a standard installation for determining the flammability groups of building materials "VSM". This work is a continuation of research in the field of studying the processes of ignition and self-ignition of wood of various species and assessing the fire-retardant efficiency of wood fire-protection means.

Key words: ignition time, ignition process, pine wood, heat flux, fire retardant composition.

Пожарная опасность древесины изучается и по сей день различными научными коллективами (см. напр. [1-2]), при этом, в основном, рассматриваются пути снижения пожарной опасности и повышения биостойкости древесины за счет ее модифицирования различными химическими составами. Целью настоящей работы являлось изучение возможностей огнезащитного состава, который должен обладать необходимыми огне- и биозащитными свойствами, при этом состоять из доступных недорогих компонентов и являться довольно экологичным при их совместном применении в виде водного раствора. В состав огнезащитного средства были включены сульфат аммония (в виде антипирена), аммофос, ортофосфорная кислота, жидкое стекло и раствор аммиака.

Введение в состав антипирена (сульфата аммония) аммофоса и ортофосфорной кислоты (в виде азотсодержащего и фосфорсодержащего соединений) должно привести к появлению в присутствии воды системы "азот (N) – фосфор (P)", совместное действие которой должно состоять в образовании над поверхностью древесины газообразной преграды из аммиака, которая будет затруднять доступ кислорода и угнетать окисление углерода в газовой фазе, тем самым создавая эффект задувания. Наличие ортофосфорной кислотой в сочетании с азотом при нормальных условиях эксплуатации должно исключать гидролиз (разложение вещества при взаимодействии с водой) древесины. При высоких температурах происходит плавление компонентов огнезащитной композиции, что приводит к образованию на поверхности древесины защитной пленки, тем самым предохраняя ее от тления после прекращения процесса пламенного горения. Кроме всего вышеперечисленного, отсутствие в составе фенола и использование только азот- и фосфорсодержащих компонентов снижает вредность изготовления огнезащитного состава.

В нашу задачу входило приготовление искомого раствора с данными компонентами и проведение испытаний по первичной оценке огнезащитной эффективности разрабатываемого средства. Ранее экспериментально нами было установлено, что огнезащитное средство, отвечающее I группе огнезащитной эффективности, может состоять из компонентов со следующим соотношением: «аммофос (48,5 %) – сульфат аммония (48,5 %) – ортофосфорная кислота (3,0 %) – раствор аммиака» [3]. Обработка проходила в два этапа: сначала образцы подвергались обработке изучаемым огнезащитным составом,

затем, после просушки, образцы подвергались обработке жидким стеклом, имеющим хорошие декоративные и биозащитные свойства.

В ходе испытаний было проведено наблюдение за процессом воспламенения паровоздушной смеси, образующейся над поверхностью образцов древесины при воздействии высоких температур. В экспериментах использовались образцы древесины сосны. В качестве образца был представлен обработанный огнезащитным составом образец древесины сосны. Испытания проводились по методике ГОСТ 30402-96¹.

После проведения градуировки испытательного оборудования, порядок которой подробно описан в ранних работах [4], мы исследовали процессы воспламенения и самовоспламенения необработанных образцов древесины сосны.

Ввиду того, что при пожарах при больших значениях тепловых потоков может происходить самовоспламенение деревянных строительных конструкций, мы в данной работе решили также исследовать характер самовоспламенения образцов древесины сосны при различной интенсивности нагрева до $T = 1000\text{ }^{\circ}\text{C}$ – при 15- и 30-минутном нагреве. Для оценки влияния разработанного огнебиозащитного состава на пожарную опасность древесины были проведены эксперименты по определению параметров воспламенения и самовоспламенения обработанных образцов древесины сосны (табл. 1–2).

При исследовании образцов древесины сосны, до появления пламени поверхность испытуемых образцов изменяла свой цвет (как правило, желтела, а затем темнела), обугливалась, активно выделялась влага и горючая паровоздушная смесь, появлялась дым (рис. 1). Это связано с высоким содержанием экстрактивных веществ (участвующих в образовании кокса), терморазложение которых приводит к активному дымовыделению.

Проведя испытания по изучению процессов воспламенения и самовоспламенения образцов древесины сосны, следующим этапом нашей работы было исследование влияния огнебиозащитного состава на поведение образцов древесины.

В качестве образцов были взяты обработанные образцы древесины сосны с расходом разработанного огнебиозащитного состава 600 г/м^2 .

¹ ГОСТ 30402-96. Материалы строительные. Метод испытания на воспламеняемость.

Для более полной оценки влияния огнезащитного состава на поведение древесины, мы также провели серию испытаний образцов на воспламеняемость при тепловых потоках $q = 15$ и $q = 20$ кВт/м²; на самовоспламеняемость

– при 15- и 30-минутном нагреве до температур $T=1000$ °С. Температура окружающей среды $t_{oc} = 220$ °С. Результаты свели в табл. 3–4 и рис. 2–3.

Таблица 1 Результаты испытаний на воспламеняемость необработанной древесины сосны

№, п/п	Порода древесины	t_n^0 , °С	t_n^0 , °С среднее	$q_{в}$, кВт/м ²	$q_{в}$, кВт/м ² среднее	$T_{в}$, сек	$T_{вср}$, сек среднее
1.	сосна	740	740	15,0	15,0	50	47
2.		740		15,0		48	
3.		741		15,0		43	
4.		830	830	20,0	20,0	28	26
5.		831		20,0		24	
6.		830		20,0		26	

Таблица 2 Результаты испытаний на самовоспламеняемость необработанной древесины сосны при 15- и 30-минутном нагреве до температур $T=1000$ °С

№, п/п	Порода древесины	$T_{нагр}$, мин.	$t_{св}$, °С	ППТП, кВт/м ²	$q_{св}$, кВт/м ² среднее	$T_{св}$, сек	$T_{свср}$, сек среднее
1.	сосна	15	695	13,0	13,0	614	613
2.			690	12,9		600	
3.			715	13,2		625	
4.		30	706	13,1	13,2	1201	1211
5.			716	13,2		1212	
6.			720	13,2		1219	



Рис. 1. Выделение горючей паровоздушной смеси при испытаниях

Таблица 3. Результаты испытаний на воспламеняемость образцов древесины сосны, обработанных огнебиозащитным составом (расход 600 г/м²)

№, п/п	Порода древесины	t _п ⁰ С	t _п ⁰ С среднее	q _в , кВт/ м ²	q _в , кВт/м ² среднее	T _в , сек	T _{всп} , сек среднее
1	сосна	740	740	15,0	15,0	229	237
2		741		15,0		243	
3		740		15,0		240	
4		830	830	20,0	20,0	104	113
5		831		20,0		115	
6		830		20,0		120	

Таблица 4. Результаты испытаний на самовоспламеняемость образцов древесины сосны, обработанных огнебиозащитным составом (расход 600 г/м²) при 15- и 30-минутном нагреве до температур T=1000⁰С

№, п/п	Порода древесины	T _{нагр} , мин.	T _{св} ⁰ С	q _в , кВт/ м ²	q _в , кВт/м ² среднее	T _{св} , сек	T _{свсп} , сек среднее
1	сосна	15	785	18,1	18,1	811	814
2			795	18,2		825	
3			779	18,1		806	
4		30	821	18,7	18,8	1484	1501
5			833	18,9		1514	
6			829	18,8		1505	

В соответствии с принятой классификацией все исследованные образцы древесины сосны по воспламеняемости относятся к группе ВЗ – легко воспламеняемых материалов².

Как показали исследования, при температуре порядка 120°С с поверхности образцов древесины начинала интенсивно испаряться влага, после чего наблюдалось разложение компонентов огнезащитного состава с выделением газообразных веществ.

В опытах заключительной части работы зафиксировано увеличение поверхностной плотности падающих тепловых потоков (а также значений времени воспламенения и самовоспламенения), которые приводят к воспламенению древесины.

Наблюдения за изменением состояния поверхности образцов в процессе воздействия на них внешнего теплового потока показали, что заметные термические превращения начинаются уже при тепловых потоках 6,0 кВт/м². Дальнейшее увеличение плотности тепловых потоков сопровождается более интенсивным обугливанием поверхности, образованием трещин в поверхностном слое и воспламенением выделяющихся продуктов термического разложения.

Задача огнезащиты заключается, прежде всего, в необходимости подавления

процессов воспламенения и горения древесины, нарушения активного участия трёх обязательных составляющих этого процесса (классического треугольника горения): горючего вещества (материала), окислителя (кислорода воздуха) и источника зажигания – теплового потока от зоны горения (нагрева) к поверхности древесины.

Применение огнезащитных составов, как показали исследования, способствует увеличению времени огневого воздействия до начала воспламенения, при этом толщины обугленного слоя образцов, обработанных огнезащитным составом, практически не отличались по значениям от толщин необработанных образцов (рис. 4).

Визуальный осмотр испытанных образцов древесины сосны показал наличие обугленного слоя толщиной от 1 до 3 мм, причем в центре образцов слой был глубже, нежели по краям, на стыке с алюминиевой фольгой. Толщины обугленного слоя образцов, обработанных огнезащитным составом, практически не отличались по значениям от толщин необработанных образцов.

Полученные данные показали, что образцы древесины сосны, обработанные разработанным огнебиозащитным составом, имеют большие значения как времени воспламенения, так и плотности тепловых потоков, при которых происходит самовоспламенение образцов по сравнению с необработанными образцами.

² Федеральный закон от 22.07.2008 N 123-ФЗ (ред. от 27.12.2018) «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности».

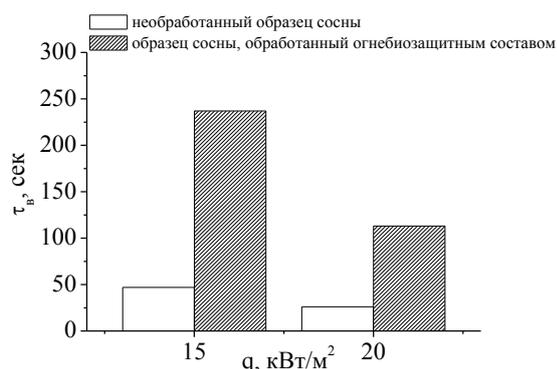


Рис. 2. Результаты испытаний на воспламеняемость необработанных и обработанных разработанным огнебиозащитным составом образцов древесины сосны $q, \text{кВт/м}^2 = f(t_{\text{нагр}}, \text{мин.})$

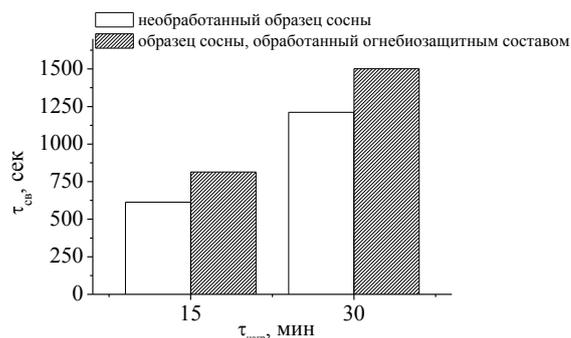


Рис. 3. Результаты испытаний на самовоспламеняемость необработанных и обработанных разработанным огнебиозащитным составом образцов древесины сосны $q, \text{кВт/м}^2 = f(t_{\text{нагр}}, \text{мин.})$

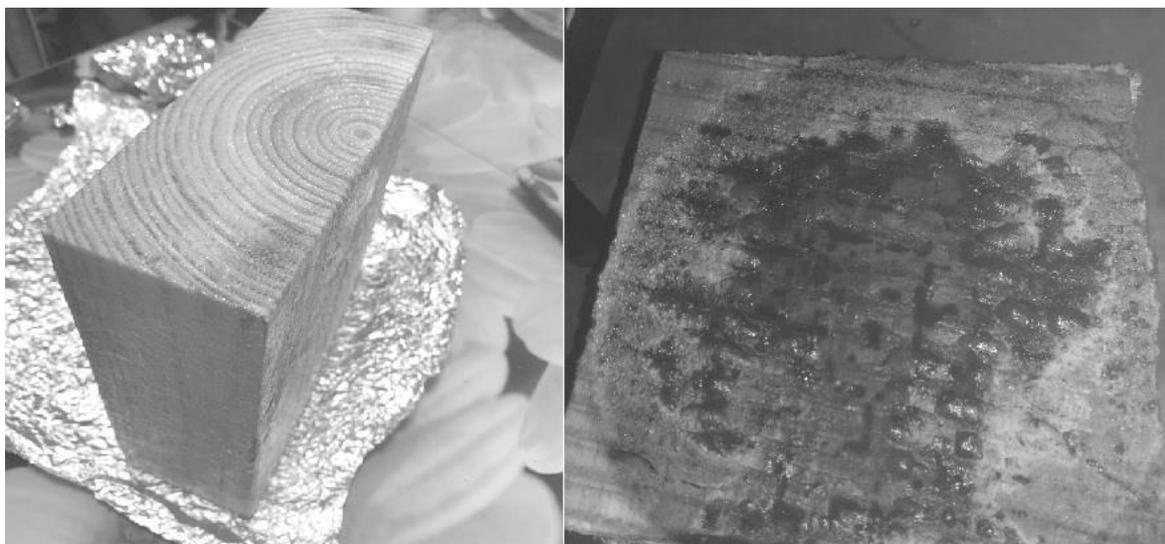


Рис. 4. Обработанный огнезащитным составом образец древесины сосны до и после проведенных испытаний

Завершение исследования огнебиозащитного состава состояло в проведении испытаний на устойчивость к воздействию влаги обработанных образцов древесины сосны по ГОСТ 30704-2001³.

Было заготовлено 10 образцов древесины сосны, обработанных огнебиозащитным составом и 4 незащищенных образца древесины сосны, определены их массы. После выдерживания в течение 24 часов в сосуде с дистиллированной водой, образцы вновь взвешены, значения представлено в табл. 5-6, рис. 5.

Таким образом, 50 % от среднего значения водопоглощения незащищенных образцов древесины сосны составляет: $0,5 \cdot W_{\text{ср}} = 40,73 \%$

Как видно из полученных данных (табл. 6, рис. 5), во всех десяти случаях значение водопоглощения образцов древесины сосны, обработанных огнебиозащитным составом, не превышает 50 % (40,73 % по абсолютному значению) значения водопоглощения контрольных (незащищенных) образцов, что соответствует требованиям ГОСТ 30704-2001 по свойству водопоглощения.

³ ГОСТ 30704-2001. Защитные средства для древесины. Методы контроля качества.

Таблица 5. Результаты испытаний на водопоглощение контрольных незащищенных образцов древесины сосны

№, п/п	m_1	m_2	$W, \%$	$W_{\text{ср}}, \%$
1.	21,52	39,43	83,22	81,47
2.	21,21	38,56	81,80	
3.	21,68	39,94	84,23	
4.	21,09	37,25	76,62	

Таблица 6. Результаты испытаний на водопоглощение образцов древесины сосны, обработанных огнебиозащитным составом (расход 600 г/м²)

№, п/п	m_1	m_2	$W, \%$
1.	27,95	34,15	22,18
2.	27,56	34,35	24,64
3.	27,73	35,64	28,53
4.	27,45	34,89	27,10
5.	28,09	35,21	25,35
6.	27,64	34,51	24,86
7.	28,15	34,81	23,66
8.	27,82	35,9	29,04
9.	27,9	34,44	23,44
10.	27,79	35,75	28,64



Рис. 5. Результаты испытаний на водопоглощение образцов древесины сосны

Список литературы

1. Асеева Р. М., Серков Б. Б., Сивенков А. Б. Выделение дыма при термическом разложении и горении древесины // Лесной вестник, 2004, № 2 (33). С. 99–103.
2. Асеева Р. М., Серков Б. Б., Сивенков А. Б., Барботько С. Л., Круглов Е. Ю. Характеристики тепловыделения при горении древесины различных пород и видов // Пожаровзрывобезопасность, 2011, т. 20, № 7. С. 2–7.
3. Наконечный С. Н., Старков Д. А. Первичная оценка огнезащитных свойств пропиточных составов. Сборник Тезисов 3-й Всероссийской Интернет-конференции «Грани науки 2014» // Отв. ред. А. В. Герасимов [Электронный ресурс] Казань: Изд-во КФУ, 2014.
4. Наконечный С. Н. Исследование процесса воспламенения образцов древесины ели // Современные научные исследования и

инновации. 2017. № 9 [Электронный ресурс]. URL: <http://web.snauka.ru/issues/2017/09/84264> (дата обращения: 04.09.2017).

References

1. Aseeva P. M., Serkov B. B., Sivenkov A. B. Vydelenie dyma pri termicheskom razlozhenii i gorenii drevesiny [Smoke generation during thermal decomposition and gorenje wood]. *Lesnoj vestnik*, 2004, № 2 (33). P. 99–103.
2. Aseeva R. M., Serkov B. B., Sivenkov A. B., Barbot'ko S. L., Kruglov E. Yu. Harakteristiki teplovydeleniya pri gorenii drevesiny razlichnykh porod i vidov [Characteristics of heat release during gorenje wood of various breeds and types]. *Pozharovzryvobezopasnost'*, 2011, t. 20, № 7. P. 2–7.
3. Nakonechnyj S. N., Starkov D. A. Pervichnaya ocenka ogneshchitnyh svojstv

propitochnyh sostavov [Primary assessment of fire-retardant properties of impregnating compositions]. *Sbornik Tezisov 3-j Vserossijskoj Internet-konferencii «Grani nauki 2014»*, Otv. red. A. V. Gerasimov [Elektronnyj resurs], Kazan': Izd-vo KFU, 2014.

4. Nakonechnyj S. N. Issledovanie pro-

cessa vosplamneniya obrazcov drevesiny eli [Investigation of the ignition process of spruce wood samples]. *Sovremennye nauchnye issledovaniya i innovacii*, 2017, issue 9 [Elektronnyj resurs]. URL: <http://web.snauka.ru/issues/2017/09/84264> (data obrashcheniya: 04.09.2017).

Наконечный Сергей Николаевич

Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,
Российская Федерация, г. Иваново

старший преподаватель

кандидат химических наук

E-mail: serny@mail.ru

Nakonechnyy Sergey Nikolaevich

Federal State Budget Educational Establishment of Higher Education «Ivanovo Fire Rescue Academy of State Firefighting Service of Ministry of Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters»,

Russian Federation, Ivanovo

senior lecturer

candidate of chemical sciences

E-mail: serny@mail.ru

Панев Никита Михайлович

Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,
Российская Федерация, г. Иваново

преподаватель

E-mail: rockmetalgay@mail.ru

Panev Nikita Mikhailovich

Federal State Budget Educational Establishment of Higher Education «Ivanovo Fire Rescue Academy of State Firefighting Service of Ministry of Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters»,

Russian Federation, Ivanovo

tutor

E-mail: rockmetalgay@mail.ru

Никифоров Александр Леонидович

Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,
Российская Федерация, г. Иваново

доктор технических наук, профессор, старший научный сотрудник

E-mail: anikiforoff@list.ru

Nikiforov Aleksandr Leonidovich

Federal State Budget Educational Establishment of Higher Education «Ivanovo Fire Rescue Academy of State Firefighting Service of Ministry of Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters»,

Russian Federation, Ivanovo

doctor of technical sciences, professor, senior researcher

E-mail: anikiforoff@list.ru

Ульева Светлана Николаевна

Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,
Российская Федерация, г. Иваново

доцент, кандидат химических наук, доцент

E-mail: jivotjagina@mail.ru

Ulieva Svetlana Nikolaevna

Federal State Budget Educational Establishment of Higher Education «Ivanovo Fire Rescue Academy of State Firefighting Service of Ministry of Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters»,

Russian Federation, Ivanovo

candidate of chemical sciences, associate professor

E-mail: jivotjagina@mail.ru

УДК 614.843.27

ОСОБЕННОСТИ СУШКИ ПОЖАРНЫХ НАПОРНЫХ РУКАВОВ ДИАМЕТРОМ БОЛЕЕ 150 ММ

А. Д. СЕМЕНОВ, А. Г. БУБНОВ, Ю. Н. МОИСЕЕВ

Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,
Российская Федерация, г. Иваново
E-mail: sad8_3@mail.ru, bubag@mail.ru, fireman13@mail.ru

В работе показано, что применение насосно-рукавных систем большой производительности позволяет повысить эффективность тушения за счёт организации бесперебойной доставки огнетушащих веществ на тушение пожара в безводных районах. Однако параметры восстановления технической готовности рукавов большого диаметра после применения не регламентированы нормативными документами. Поэтому предложено использовать способ удаления избыточного влагосодержания из рукава, сочетающий в себе механическое удаление влаги поршнем-разделителем под давлением сжатого воздуха из ресивера с последующей продувкой воздухом естественной влажности.

Ключевые слова: плоскосворачиваемый полимерный рукав; сушка; время сушки.

FEATURES OF DRYING FIRE PRESSURE HOSES WITH A DIAMETER OF MORE THAN 150 MM

A. D. SEMENOV, A. G. BUBNOV, Yu. N. MOISEEV

Federal State Budget Educational Establishment of Higher Education
«Ivanovo Fire Rescue Academy of State Firefighting Service of Ministry of Russian Federation
for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters»,
Russian Federation, Ivanovo
E-mail: sad8_3@mail.ru, bubag@mail.ru, fireman13@mail.ru

The paper shows that the use of high-capacity pump-and-hose systems can improve the efficiency of extinguishing by organizing the uninterrupted delivery of fire extinguishing agents to extinguish fires in waterless areas. However, the parameters for restoring the technical readiness of large-diameter hoses after use are not regulated by regulatory documents. Therefore, it is proposed to use a method for removing excess moisture content from the sleeve, which combines the mechanical removal of moisture by a separator piston under pressure of compressed air from the receiver, followed by purging with air of natural humidity.

Key words: flat-turnable polymer sleeve; drying; drying time.

В последние годы во всём мире, в том числе и на территории нашей страны, наблюдается устойчивая тенденция к увеличению темпов промышленного роста, а как следствие этого и увеличение количества чрезвычайных ситуаций (ЧС) на промышленных объектах. Тенденцию увеличения таких ЧС подтверждает статистика. Взрывы и пожары на пиротехнических фабриках и складах [1], гидроэлектростанциях [2], атомных электростанциях [3] и других промышленных объектах. Для ликвидации ЧС на таких объектах требуется задействовать значительное количество сил и средств, в том числе техники, способной перекачивать большое количество огнетушащих веществ.

Тушение пожара – сложный процесс эффективности, которого определяется сочетанием, таких факторов как: подготовленность личного состава, состояние пожарной техники, наличие водоисточников и др. В настоящее время промышленностью выпускаются пожарные

автомобили, производительность насосных установок которых достигает 300 л/с, а дальность подачи несколько километров [4]. Доставка больших объёмов огнетушащих веществ на значительные расстояния позволяет организовать бесперебойную подачу на тушение пожара в безводных районах. Транспортировку огнетушащих веществ на тушение осуществляют с применением рукавных линий диаметром до 300 мм. Обслуживание рукавов с DN свыше \varnothing 150 мм может проводиться как в полевых условиях, так и в условиях пожарно-спасательной части¹. Анализ технологического порядка экс-

¹ Приказ МЧС России от 01.10.2020 № 737. «Об утверждении Руководства по организации материально-технического обеспечения Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий».

платации пожарных рукавов показал, что основной операцией при техническом обслуживании является сушка, от качества проведения которой будет зависеть долговечность рукава. Однако не установлены требования к обслуживанию рукавов большого диаметра после применения.

Таким образом, применение насосно-рукавных систем (НРС) большой производительности позволяет повысить эффективность тушения за счёт организации бесперебойной доставки огнетушащих веществ на тушение пожара в безводных районах. Однако параметры восстановления технической готовности рукавов большого диаметра после применения не регламентированы нормативными документами.

Цель работы – обоснование физических параметров сушки напорных пожарных рукавов диаметром более 150 мм.

Рассматриваемые рукава применяют для транспортировки различных веществ. С помощью рассматриваемых рукавов [5] создаются сложные мобильные системы трубопроводов с широкой областью применения: как для транспортировки, так и для хранения различных материалов, газов и жидкостей. Полимерные плоскостворачиваемые рукава большого диаметра активно используют в жилищно-коммунальном хозяйстве (рис. 1): для технической воды (погружные насосы), промывки канализации, сточных вод, грязи, а также передачи сжатого воздуха.



Рис. 1. Применение плоскостворачиваемых рукавов в жилищно-коммунальном хозяйстве

Износостойкие полимерные рукава используются для восстановления изношенных систем водоводов и канализации, при этом они значительно облегчают монтаж, позволяя использовать бестраншейные технологии. Анализ литературных данных [5] - [8] по производ-

ству пожарных рукавов диаметром более 200 мм показал, что такие рукава имеют и внутреннее гидроизоляционное покрытие, и покрытие с наружной стороны каркаса, образующее защитный слой покрывного материала определённой толщины.

Применение полимерных плоскостворачиваемых рукавов позволяет перемещать большие объёмы воды как на тушение пожара, так и при откачке, что повышает тактические возможности подразделений при ликвидации последствий ЧС. Однако приведение в готовность оборудования, после применения, осложняется габаритными размерами – длина одного рукава достигает 50-100 м, а остаточный объём воды в нём равен 1-3 м³.

В работах [5]–[8] показано, что при эксплуатации пожарных напорных ⁴²рукавов, именно технологическая операция их обслуживания - сушки определяет показатели долговечности и безотказности при хранении и использовании рукавов^{2,3,4,5,6}. Таким образом, определение параметров осушения полимерных плоскостворачиваемых рукавов позволит повысить эффективность эксплуатации.

Выбор способа удаления избыточной влаги из рукава определяется техническими характеристиками материалов, из которых он изготовлен. Известно, что прочностные свойства рукавов зависят от способа их ткачества. Так в [5] предлагается конструкция тканевого рукава (рис. 2), которая имеет в сечении трёхслойную структуру, состоящую из внутреннего покрытия 4, ткани 6 и внешнего покрытия 8. Внутреннее покрытие 4 имеет высокую степень герметично-

² ГОСТ Р 51049-2008. Техника пожарная. Рукава пожарные напорные. Общие технические требования. Методы испытаний. Введ. 2010-01-01. М.: Стандартинформ, 2009. 24 с.

³ ГОСТ Р 58714-2019 Магистральный трубопроводный транспорт нефти и нефтепродуктов. Трубопроводы из гибких плоскостворачиваемых рукавов. Общие технические условия. Введ. 2020-08-01. М.: Стандартинформ, 2020. 23 с.

⁴ ГОСТ Р ИСО 1402-2019 Рукава резиновые и пластиковые и рукава в сборе Гидравлические испытания. Введ. 2020-01-01. М.: Стандартинформ, 2020. 12 с.

⁵ ГОСТ ISO 8 3 3 1-2016 Рукава резиновые и пластиковые и рукава в сборе. Рекомендации по выбору, хранению, применению и техническому обслуживанию. Введ. 2016-03-29. М.: Стандартинформ, 2016. 16 с.

⁶ ГОСТ Р 53277-2009 Техника пожарная. Оборудование по обслуживанию пожарных рукавов. Общие технические требования. Методы испытаний. Введ. 2010-01-01. М.: Стандартинформ, 2010. 16 с.

сти и стойкости к воздействию транспортируемой среды. Кроме того, оно защищает ткань 6 изнутри рукава.

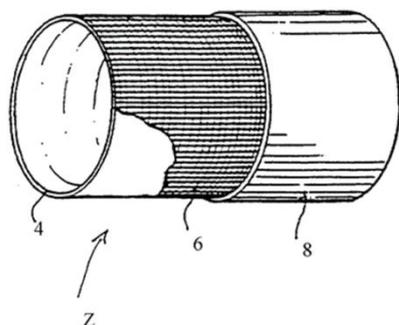


Рис. 2. Конструкция плоскосворачиваемого рукава: 4 – внутреннее покрытие, 6 – ткань, 8 – внешнее покрытие

Авторами [5] предложено в качестве материала внутреннего покрытия использовать эластичный термопластичный полимерный материал с наполнителем или без него. Функцией внешнего покрытия 8 является защита ткани 6 от внешних воздействий. К этим воздействиям относятся, в частности, механические нагрузки при протаскивании рукава и разрушение, например, от влаги и микроорганизмов. В качестве материала для внешнего покрытия 8 предпочтительно применяют эластичный термопластичный полимерный материал - полиуретан. Технические характеристики плоско сворачиваемого полимерного рукава представлены в табл. 1.

Таблица 1. Технические характеристики плоскосворачиваемого полимерного рукава с покрытием из полиуретана

Параметры	Классический напорный рукав	Предложенный рукав – рис. 3 (а)	Предложенный рукав – рис. 3 (б)
Внутреннее покрытие	полиэфир	полиуретан	полиуретан
Внешнее покрытие	нет	полиуретан	полиуретан
Волокно ткани	полиэфир	арамид	арамид
Толщина нити основы	-	10 000 дтекс	10 000 дтекс
Толщина уточной нити	-	15 000 дтекс	15 000 дтекс
Плотность по утку (P_v)	40	42	65
Вид ткани	льняная нить	саржевая ткань	саржевая ткань
Разрывное внутреннее давление ($P_{разр}$)	13 бар при DN 400 мм	90 бар DN 170 мм	110 бар DN 170 мм
Газонепроницаемость (газообразный метан)	$\approx 10,0 \text{ см}^3/(\text{ч бар м}^2)$	$1,7 \text{ см}^3/(\text{ч бар м}^2)$	$1,7 \text{ см}^3/(\text{ч бар м}^2)$
Максимальная длина ремонтируемого участка	250 м	2000 м	2000 м

Исходя из представленных данных (табл. 1) видно, что применение внешнего и внутреннего покрытия рукава позволяет повысить его прочностные свойства в 7 – 8 раз. Такое увеличение прочностных свойств связано с конструктивными особенностями тканого каркаса (рис. 3) предлагаемого рукава.

Рассмотрим основные физико-химические свойства полимерных покрытий (табл. 2), которые используются при создании магистральных рукавов внутренним диаметром более 150 мм.

На основании обобщённых данных по способу ткачества и физико-химическим свойствам композитных материалов (табл. 2), применяемых для производства плоскосворачиваемых полимерных рукавов наиболее предпочтительным является покрытие из полиуретана. Полиуретановые напорные рукава характеризуются высокой эластичностью, более широким интервалом рабочих температур, что позволяет эксплуатировать их в различных климатических районах страны и гибко выбирать технологию и физические параметры сушки.

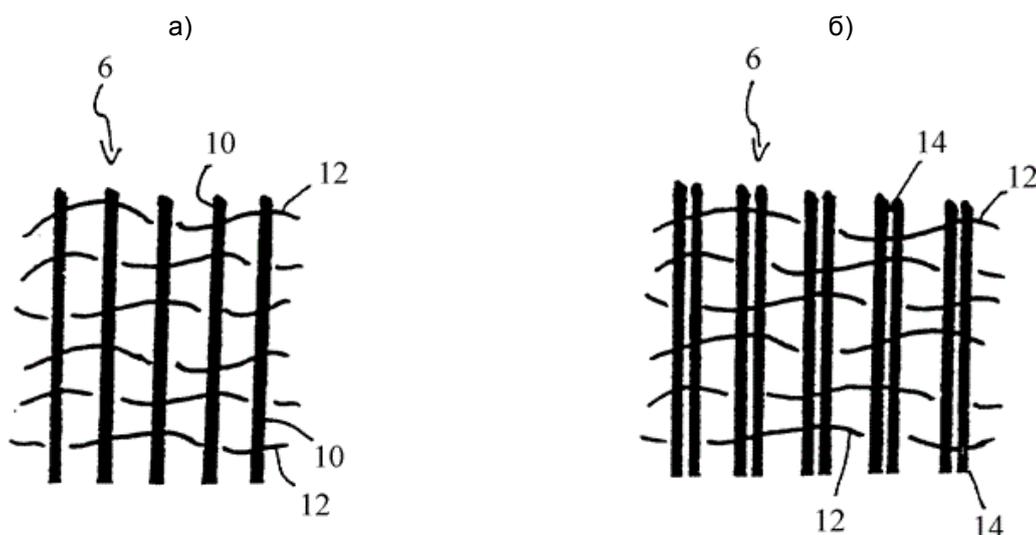


Рис. 3. Тканый каркас разработанного рукава с полимерным покрытием [5], а) с $P_{\text{разр}}=90$ бар с $\Pi_y=34$; б) $P_{\text{разр}}=110$ бар, $\Pi_y=65$

Таблица 2. Сравнительная характеристика композитных материалов применяемых для полимерного покрытия рукава

№ п/п	Показатель	Полимерное покрытие		
		Полиуретан	Полипропилен	Полиэтилен
1	Твёрдость по Шору	40 – 98	70–83	65,5
2	Эластичность	20 – 65 % по отскоку	40 – 52 % по отскоку	26 – 46 % по отскоку
3	Диапазон рабочих температур, °С	-70 - 120	-20 - 130	0 – 40
4	Плотность, кг/м ³	1,1 - 1,25	0,860 кг/м ³	0,92 - 0,97

Ввиду больших габаритных размеров рукавов, применяемых для доставки огнетушащих веществ, целесообразно проводить операции по мойке и сушке рукавов после применения. Такая организация мероприятий, по восстановлению боевой готовности рукавов, позволит сократить материальные затраты на доставку и подготовку их к обслуживанию.

Анализ литературы [9] показывает, что механические способы удаления являются более дешёвыми и производительными по сравнению с конвективным. Материальные затраты и сложность оборудования, применяемого для осушения зависят от влагосодержания высушиваемого материала. Таким образом, опорожнение рукавных линий целесообразно осуществлять с применением насосных установок, но удалить всю воду из рукава не удастся. В работе [10] показано, что удаление остаточного количества воды проводят с применением поршня-разделителя эластичного ОПР-М (рис. 4) под давлением сжатого воздуха

из ресивера⁷. Применение поршня позволяет вытолкнуть избыточную воду из рукава, однако на стенках образуется жидкостная пленка, от толщины которой зависит остаточное влагосодержание напорного плоскостворачиваемого рукава.



Рис. 4. Очистной поршень ОПР-М

⁷ ТТК. Удаление воды из трубопровода с пропуском очистного поршня после гидравлических испытаний магистрального газопровода [Электронный ресурс]. Официальный сайт «Электронный фонд правовой и нормативно-технической информации». Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/493604067?section=text> (дата обращения 09.04.2021).

Авторами [11] показано, что при опорожнении рукава на поверхности за счёт поверхностного натяжения, образуется жидкостная плёнка. Общая масса жидкости, содержащаяся в этой плёнке, для горизонтального трубопровода определяется выражением:

$$G^3 = \rho_{ж} \delta_r F_r, \quad (1)$$

где: F_r – освобождаемая при сливе площадь поверхности горизонтальных элементов изделия; δ_r – толщины жидкостной плёнки, образующейся на горизонтальных поверхностях, освобождаемых при сливе.

Структура жидкостной плёнки, образующейся на внутренних стенках рукава, характеризуется сложной формой, которая определяется физическими свойствами перекачиваемой жидкости и поверхности стенки. В работе [10] предлагается проводить расчёт остаточного количества воды по толщине плёнки усреднённой по всей смоченной поверхности. Обычно значение толщины жидкостной плёнки представляют в виде функции от скорости опускания, плотности, коэффициента динамической вязкости и коэффициента поверхностного натяжения, то есть:

$$\delta_r = f(W, t, g, \rho, \eta, \delta) \quad (2)$$

Таблица 3. Расчётные данные массы остаточной влаги от толщины жидкостной плёнки на внутренней поверхности рукава

Параметр	Толщина жидкостной плёнки на внутренней поверхности рукава, мм			
	0,305	0,7	1	1,5
Масса остаточного содержания влаги в рукаве, кг	19,2	43,96	62,8	94,2

Оценку эффективности предлагаемого решения, по организации сушки магистральных рукавов диаметром более 150 мм, проводили по расчёту времени сушки остаточного содержания влаги в рукаве с применением очистного поршня (рис. 5) и без него. Расчёт времени сушки рукава проводили по методике [12], продолжительность сушки при постоянных условиях (по воздуху) может быть определена выражением:

$$T = \frac{u_n}{N} + \frac{u_{кр}}{N} \cdot 2,3 \cdot \lg\left(\frac{u_{кр}}{u_k}\right), \quad (3)$$

Выражение (2) характеризует зависимость между физическими величинами перекачиваемой жидкости, а свободную жидкость составляют гидравлические остатки после слива жидкости из рукава. В работе [11] показано, что толщина плёнки воды, при её стекании по вертикальной трубе, зависит от критерия Рейнольдса, а при небольших расходах жидкости толщина составляет 0,305 мм. Таким образом, примем среднюю толщину жидкостной плёнки на внутренней поверхности рукава 0,305 мм, что позволяет по выражению (1) определить остаточное количество влаги в рукаве длиной 100 м. Тогда масса оставшейся влаги после удаления поршнем ОПР-М в рукаве такой длины будет равна 19,2 кг. Таким образом, для обеспечения сушки внутренней поверхности рукава длиной 100 м требуется удалить 19,2 кг воды.

В связи с тем, что в полевых условиях, для перемещения очистного поршня используется сжатый воздух, то в качестве сушильного агента целесообразно использовать воздух без предварительного подогрева. Такое техническое решение позволит уменьшить энергозатраты и упростить конструкцию компрессорной установки для сушки рукавов в полевых условиях (см. табл. 3).

где: N – скорость сушки, выражаемая числом килограммов влаги (на килограмм сухого вещества), испаряемой за 1 с; u_n , $u_{кр}$, u_k – начальное, критическое, конечное влагосодержание материала (считая на сухое вещество).

В качестве сушильного агента при расчётах использовался воздух с относительной влажностью 70 % с интервалом температур 2–24 °С.

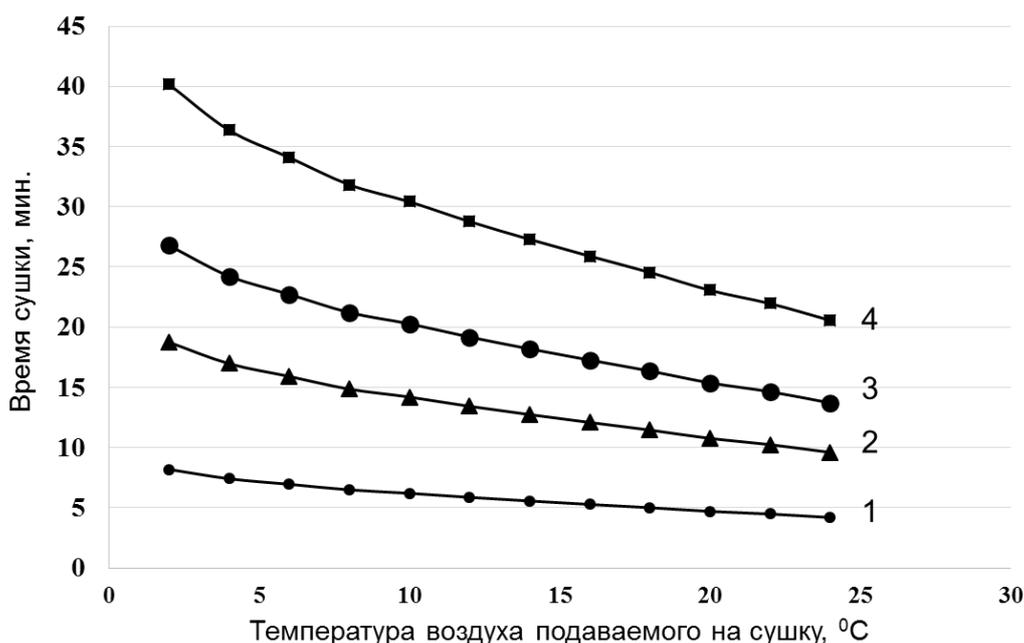


Рис. 5. Зависимость времени сушки рукава диаметром 200 мм, длиной 100 м от температуры подаваемого воздуха при влажности 70 %

1 – зависимость времени удаления 19,2 кг воды, 2 – зависимость времени удаления 43,96 кг воды, 3 – зависимость времени удаления 62,8 кг воды, 4 – зависимость времени удаления 94,2 кг воды

Анализ расчётных значений зависимости времени сушки рукава, диаметром 200 мм длиной 100 м, от температуры подаваемого воздуха, при влажности 70 % показал, что при влагосодержании в рукаве 94,2 кг среднее время сушки рукава составляет 30 мин. По мере снижения остаточного количества воды в рукаве при вытеснении очистным поршнем, под давлением сжатого воздуха из ресивера, среднее время высушивания рукава уменьшается в 6 раз и составляет 5 мин. Однако суммарное время обслуживания одного рукава, с применением механического способа удаления влаги, с последующей сушкой воздухом, подаваемым из компрессора, по нашим оценкам, составит 15 мин.

Таким образом, применение механического способа удаления избыточной влаги с последующим конвективным осушиванием рукава (после применения) позволит повысить эффективность сушки рукавов диаметром более 150 мм. Энергозатраты на сушку рукавов,

при таком комбинированном способе, сократятся в 3 раза.

Вывод

В работе показано что, применение НРС большой производительности позволяет повысить эффективность тушения за счёт организации бесперебойной доставки огнетушащих веществ на тушение пожара в безводных районах. Опорожнение рукавов большого диаметра после применения целесообразно осуществлять с применением насосных установок. Для эффективного удаления воды возможно применение очистного поршня выталкивающего избыточную воду из напорного плоскостворачиваемого рукава (среднее время высушивания рукава уменьшается в 6 раз). Остаточное содержание влаги предлагается удалять конвекцией воздуха через рукав. Тогда временные и энергетические затраты на сушку рукавов, сократятся не менее чем в 3 раза.

Список литературы

1. Фейерверк убийственной силы [Электронный ресурс]. Официальный сайт газеты «Коммерсантъ». Режим доступа: <https://www.kommersant.ru/doc/147904> (дата обращения 09.07.2020).

2. Разрушение гидроагрегата № 2 Саяно-Шушенской ГЭС: причины и уроки. Сборник материалов (в 3 томах). М.: НП «Гидроэнергетика России», 2013. 480 с., 496 с., 408 с.

3. Авария на АЭС «Фукусима-дайити». Доклад Генерального директора МАГАТЭ. Вена, 2015. 278 с.

4. Зайченко, Ю. С. Шкунов С. А., Тараканов Д. В. Модель поддержки принятия решений при управлении распределением мобильных средств пожаротушения // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. 2021. № 1. С. 64–70.

5. Патент 2227860 Российская Федерация №2002106729/06. Тканевый рукав / Редлингер Й. мл. (DE), Стиммельмайр Х. (DE), Хайнце Ф. (DE), Кёппинг Франк-М. (DE); опубл. 27.04.2004, Бюл. № 12. 8 с.

6. Логинов В.И., Ртищев С. М., Козырев В. Н. Методическое руководство по организации и порядку эксплуатации пожарных рукавов. М.: ВНИИПО. 2008. 55 с.

7. Choosing hoselines for initial attack. Calif. Fire. Serv. 1990. С.12–13. Т. 10.

8. Монахов Н. А., Федотов Ю. А. Общие технические требования и методы испытаний пожарных напорных рукавов // Пожарная техника: Средства и способы пожаротушения: Сб. науч. тр. М.: ВНИИПО, 1996. С. 105.

9. Лебедев П. Д. Расчет и проектирование сушильных установок. М.: Государственное энергетическое издание. 1962. 320 с.

10. Елфимова М. В., Архипов Г. Ф. Вакуумно-температурная сушка пожарных рукавов // Вестник Санкт-Петербургского университета государственной противопожарной службы МЧС России. 2010. № 4. С. 8–13.

11. Балайка Б., Сикора К. Процессы теплообмена в аппаратах химической промышленности. М.: Государственное научно-техническое издательство машиностроительной литературы. 1962. 351 с.

12. Павлов К. Ф., Романков П. Г., Носков А. А. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии. Учебное пособие для вузов 10-е изд., перераб. и доп. Л.: Химия. 1987. 576 с.

References

1. Fejerverk ubijstvennoj sily [Fireworks of murderous power] [Elektronnyj resurs]. Oficial'nyj sayt gazety «Kommersant». Rezhim dostupa: <https://www.kommersant.ru/doc/147904> (data obrashcheniya 09.07.2020).

2. Razrushenie gidroagregata №2 Sayano-Shushenskoj GES: prichiny i uroki [Destruction of hydraulic unit No.2 Sayano-Shushenskaya HPP: reasons and lessons]. *Sbornik materialov* (v

3 tomah). М.: NP «Gidroenergetika Rossii», 2013, 480+496+408 p.

3. *Avariya na AES «Fukusima-dajiti». Doklad General'nogo direktora MAGATE* [The accident at the Fukushima Daiichi nuclear power plant. Report of the Director General of the MAGATE]. Вена, 2015. 278 p.

4. Zajchenko, YU.S. Model' podderzhki prinyatiya reshenij pri upravlenii raspredeleniem mobil'nyh sredstv pozharotusheniya [Decision support model for managing the distribution of mobile firefighting equipment]. *Pozhary i chrezvychnajnye situacii: predotvrashchenie, likvidaciya*, 2021, № 1, P. 64–70.

5. Redlinger J. ml. (DE), Stimmelmajr H. (DE), Hajnce F. (DE), Kyopping Frank-M. (DE) Tkanevyj rukav [Fabric Sleeve], Patent 2227860 Rossiyskaya Federatsiya. №2002106729/06 opubl. 27.04.2004, Byul, № 12, 8 p.

6. Loginov, V. I., Rtishchev S. M., Kozyrev V. N. *Metodicheskoe rukovodstvo po organizacii i poryadku ekspluatcii pozharnyh rukavov* [Methodological guide to the organization and operation of fire hoses]. М.: VNIPO, 2008, 55 p.

7. Choosing hoselines for initial attack. Calif. Fire. Serv. 1990, Т. 10, p. 12–13.

8. Monahov N. A., Fedotov Yu. A. Obshchie tekhnicheskie trebovaniya i metody ispytaniy pozharnyh napornyh rukavov [General technical requirements and test methods for fire pressure hoses]. *Pozharnaya tekhnika: Sredstva i sposoby pozharotusheniya: Sb. nauch. tr.* М.: VNIPO, 1996, p. 105.

9. Lebedev P. D. *Raschet i proektirovanie sushil'nyh ustanovok* [Calculation and design of drying plants]. М.: Gosudarstvennoe energeticheskoe izdanie, 1962, 320 p.

10. Elfimova M. V., Arhipov G. F. Vakuumno-temperaturnaya suшка pozharnyh rukavov [Vacuum-temperature drying of fire hoses]. *Vestnik Sankt-Peterburgskogo universiteta gosudarstvennoj protivopozharnoj sluzhby MCHS Rossii*, 2010, № 4, pp. 8–13.

11. Balajka B., Sikora K. *Processy teploobmena v apparatah himicheskoy promyshlennosti* [Heat transfer processes in chemical industry apparatuses]. М.: Gosudarstvennoe nauchno-tekhnicheskoe izdatel'stvo mashinostroitel'noj literatury, 1962, 351 p.

12. Pavlov K. F., Romankov P. G., Noskov A. A. *Primery i zadachi po kursu processov i apparatov himicheskoy tekhnologii. Uchebnoe posobie dlya vuzov* [Examples and tasks for the course of processes and devices of chemical technology]. 10-e izd., pererab. i dop. Л.: Himiya, 1987, 576 p.

Семенов Андрей Дмитриевич

Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,
Российская Федерация, г. Иваново

кандидат технических наук, заместитель начальника кафедры

E-mail: sad8_3@mail.ru,

Semenov Andrey Dmitrievich

Federal State Budget Educational Establishment of Higher Education «Ivanovo Fire Rescue Academy of State Firefighting Service of Ministry of Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters»,

Russian Federation, Ivanovo

candidate of technical sciences, deputy chief of chair

E-mail: sad8_3@mail.ru.

Бубнов Андрей Германович

Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,
Российская Федерация, г. Иваново

доктор хим. наук, профессор

E-mail: bubag@mail.ru.

Bubnov Andrey Germanovich

Federal State Budget Educational Establishment of Higher Education «Ivanovo Fire Rescue Academy of State Firefighting Service of Ministry of Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters»,

Russian Federation, Ivanovo

Professor

E-mail: bubag@mail.ru.

Моисеев Юрий Николаевич

Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,
Российская Федерация, г. Иваново

начальник кафедры

E-mail: fireman13@mail.ru.

Moiseev Yuri Nikolaevich

Federal State Budget Educational Establishment of Higher Education «Ivanovo Fire Rescue Academy of State Firefighting Service of Ministry of Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters»,

Russian Federation, Ivanovo

head of the department

E-mail: fireman13@mail.ru.

УДК 614.841

ОЦЕНКА ПОЖАРООПАСНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ИНТЕРЬЕРНЫХ ТКАНЕЙ

О. Е. СТОРОНКИНА, Т. А. МОЧАЛОВА

Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,
Российская Федерация, г. Иваново
E-mail: oleg1968@mail.ru, mihailmochalov@mail.ru

В представленной работе проанализированы пожароопасные показатели интерьерных тканей на основе определения кислородного индекса, температуры самовоспламенения, исследований на воспламеняемость, распространение пламени и термогравиметрических измерений.

Ключевые слова: интерьерные ткани, температура самовоспламенения, кислородный индекс, распространение пламени, термогравиметрический анализ, пожарно-техническая экспертиза.

ASSESSMENT OF FIRE HAZARDOUS INDICATORS OF INTERIOR FABRICS

O. E. STORONKINA, T. A. MOCHALOVA

Federal State Budget Educational Establishment of Higher Education
«Ivanovo Fire Rescue Academy of State Firefighting Service of Ministry of Russian Federation
for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters»,
Russian Federation, Ivanovo
E-mail: oleg1968@mail.ru, mihailmochalov@mail.ru

The article provides an analysis of the fire hazard properties of household textiles based on the determination of the oxygen index, autoignition temperature, flammability and flame propagation studies.

Key words: textiles, autoignition temperature, oxygen index, flame spread, fire-technical expertise.

Наибольшую пожарную опасность в интерьере квартир, офисов, объектов социально-культурного назначения представляют текстильные материалы. Они используются для изготовления элементов мягкой мебели, постельных принадлежностей, ковровых изделий, штор и т.д.

Практически все текстильные материалы являются горючими. Кроме того, большинство из них способны воспламеняться при воздействии источников зажигания малой мощности и распространять пламя по поверхности. Поэтому часто пожары в помещениях начинаются с воспламенения изделий из текстиля.

В связи этим, при проведении судебной пожарно-технической экспертизы стали возникать вопросы не только о причине возникновения и расположении очага пожара, но и о параметрах пожара, обусловленных пожароопасными свойствами текстильных материалов, к которым относятся - группа горючести веществ и материалов, воспламеняемость,

скорость распространения горения, наличие огнезащитной обработки¹.

Определение показателей пожарной опасности веществ и материалов проводится по стандартным методикам в том случае, когда необходимые для эксперта данные отсутствуют в справочниках или когда в материалах дела необходимые данные имеются, но их достоверность по каким-либо причинам вызывает сомнение. Кроме этого, данные по пожароопасным характеристикам могут понадобиться при анализе влияния внешних факторов на вероятность возникновения возгорания и последующего развития горения.

В данной работе в качестве объектов исследования были выбраны образцы современных интерьерных тканей (производство Китай) сложной структуры, состоящие из синтетических волокон, применяемые при производстве мягкой мебели.

¹ Федеральный закон «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» от 22.07.2008 № 123-ФЗ (с изменениями и дополнениями).

Одним из наиболее универсальных показателей горючести полимеров, волокнистых материалов, тканей и изделий из них является значение кислородного индекса (КИ)². - Его величина определяется процентным содержанием кислорода в окружающей атмосфере, при котором материал начинает поддерживать свечеобразное устойчивое пламенное горение. В воздухе содержание кислорода составляет 21 %. Таким образом, если значение КИ для исследуемого материала окажется менее 21 %, этот материал будет поддерживать самостоятельное горение.

Испытания проводились на лабораторной установке Oxugen Index Module (Concept Equipment Ltd, UK) при температуре окружающей среды (20±2)°С. Образец закрепляли в вертикальном положении в держателе в центре колонки так, чтобы верхний край образца находился на расстоянии не менее 100 мм от верхнего края колонки. Приборы для измерения давления и расхода газов отрегулировали таким образом, чтобы газовый поток в колонке имел скорость (40±10) мм/с. Перед испытанием система продувалась газовой смесью в течение 30 с до установления постоянной концентрации кислорода. Результаты проведенных исследований представлены в табл. 1.

Проведенные испытания по определению кислородного индекса показали, что при концентрации кислорода в потоке кислородно-азотной смеси для ткани «Энигма» (21,8 %), ткани «Форест» (20 %) и ткани «Флок-софт» (23 %) наблюдалось самостоятельное горение вертикально расположенных образцов, зажигаемых сверху.

Испытания на воспламеняемость интерьерных тканей проводили на установке Flame Resistance (Gibitre Instruments S.r.l., Italia) в соответствии с ГОСТ Р 50810-95, устанавливающим метод определения способности текстильных материалов сопротивляться воспламенению, устойчивому горению, а также оценки их огнезащитности³.

При проведении исследований было использовано 16 образцов размером 220x170 мм (8 – с ориентацией по основе и столько же по утку). Для дублированных тканей образцы исследовались с двух сторон. Образец ткани закреплялся на рамке таким образом, чтобы ниж-

няя кромка образца выходила за нижнюю шпильку на 5 мм. Горелка устанавливалась под углом 60° к горизонтали, что обеспечивало контакт пламени с нижней кромкой образца. Время воздействия пламени на каждый образец составляло 5 с. Далее испытания проводили последовательно еще на 5 образцах в направлении основы и на 5 образцах в направлении утка, используя условия зажигания, при которых были получены устойчивое горение и наибольшая длина обуглившегося участка.

В ходе испытаний регистрировались следующие параметры: время остаточного горения, длина выгоревшего участка поверхности образца, наличие загорания или тления хлопчатобумажной ваты от падающих частей или горящих капель испытываемого образца (табл. 2). По окончании испытаний измерялась длина обугленного участка.

По результатам проведенных испытаний выявлено, что воспламенение исследуемых образцов не вызывало затруднений, все образцы без исключения поддерживали самостоятельное горение, при горении плавилась, образуя горячие капли, которые воспламеняли подстилающую хлопчатобумажную вату. В реальных условиях пожара данная особенность материалов может способствовать распространению горения и увеличению площади пожара.

Температуру самовоспламенения образцов интерьерных тканей измеряли на установке ОТП (Метротекс, Россия) в соответствии с методикой [1] на базе СЭУ ФПС ИПЛ по Ивановской области. Сущность метода состоит в определении температуры, при которой происходит воспламенение образца при контакте продуктов термического разложения с источником зажигания [2, 3]. Метод реализуется в диапазоне температур от 25 до 600°С. При проведении испытаний рабочую камеру нагревали до температуры, превышающей на 200°С температуру начала разложения исследуемого вещества (материала). После установления в рабочей камере стационарного температурного режима, извлекали из камеры контейнер, заполняли его образцом за время не более 15 с и опускали внутрь камеры. Наблюдала за образцом с помощью зеркала. Если при заданной температуре испытания наблюдалось самовоспламенение, то следующее испытание проводилось при меньшей температуре. Если в течение 20 мин или до момента полного прекращения дымовыделения самовоспламенение не происходило, испытание прекращалось, и в протоколе отмечался отказ. Полученные результаты представлены в табл. 3.

² ГОСТ 12.1.044-89 Система стандартов безопасности труда. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов. Номенклатура показателей и методы их определения.

³ ГОСТ Р 50810-95 Пожарная безопасность текстильных материалов. Ткани декоративные. Метод испытания на воспламеняемость и классификация.

Таблица 1. Показатели кислородного индекса для исследованных образцов тканей

Номер образца	Описание образца	КИ, % об.
1	Ткань «Энигма», состав: 100 % полиэстер; поверхностная плотность - 310 г/м ²	21,8
2	Ткань «Форест», состав: нейлон - 17%, полиэстер – 65 %, акрил – 18 %; поверхностная плотность - 340 г/м ²	20
3	Ткань «Флок-софт», состав: полиэстер – 65 %; хлопок – 35 %; поверхностная плотность - 300 г/м ²	23

Таблица 2. Оценка результатов на воспламеняемость

Регистрируемые параметры	Номер образца		
	1	2	3
Время зажигания с поверхности, с	-	-	-
Время зажигания с кромки, с	1,5	1,5	5
Время самостоятельного горения, с	32	32	40
Прогорание до кромки, с	30	30	36
Воспламенение хлопчатобумажной ваты	+	+	+
Длина обугленного участка, мм	220	220	220
Поверхностная вспышка	-	-	-

Таблица 3. Значения температур самовоспламенения и времени воспламенения образцов интерьерных тканей

Номер образца	Наименование ткани	Результаты эксперимента
1	Ткань «Энигма»	$t_{св} = 525^{\circ}\text{C}$, $\tau = 60$ с
2	Ткань «Форест»	$t_{св} = 530^{\circ}\text{C}$, $\tau = 40$ с
3	Ткань «Флок-софт»	$t_{св} = 535^{\circ}\text{C}$, $\tau = 50$ с

Несмотря на высокие значения температур самовоспламенения, горение исследуемых образцов интерьерных тканей сопровождалось выделением большого количества плотного черного дыма и резкого запаха.

Наряду с перечисленными методами нами дополнительно были проведены термические испытания выбранных образцов тканей. Эти данные позволяют более полно оценить пожарную опасность текстильных материалов.

Первые работы, посвященные использованию термогравиметрического анализа непосредственно для определения пожароопасных характеристик веществ и материалов, были проведены в конце XX века [4]. Для этого выявлялись корреляционные связи общепринятых пожароопасных характеристик веществ, которые определялись с помощью стандартных методов, с характеристиками, полученными методом ТГА (термогравиметрический анализ).

Термогравиметрический метод исследования и анализа, основан на регистрации изменения массы образца в зависимости от его температуры в условиях программированного изменения температуры среды [5]. Испытания проводились на термическом анализаторе SETSYS Evolution (Setaram Instrumentation, France). Общий вид термогравиметрических кривых для исследуемых интерьерных тканей представлен на рис. 1, 2 и 3. Полученные кривые отображают следующие параметры:

1 – термогравиметрическая зависимость (TG, мг), показывающая потерю массы образца по мере увеличения температуры;

2 – дифференциальная термогравиметрическая зависимость (DTG, мг/мин), характеризующая скорость изменения массы образца с ростом температуры.

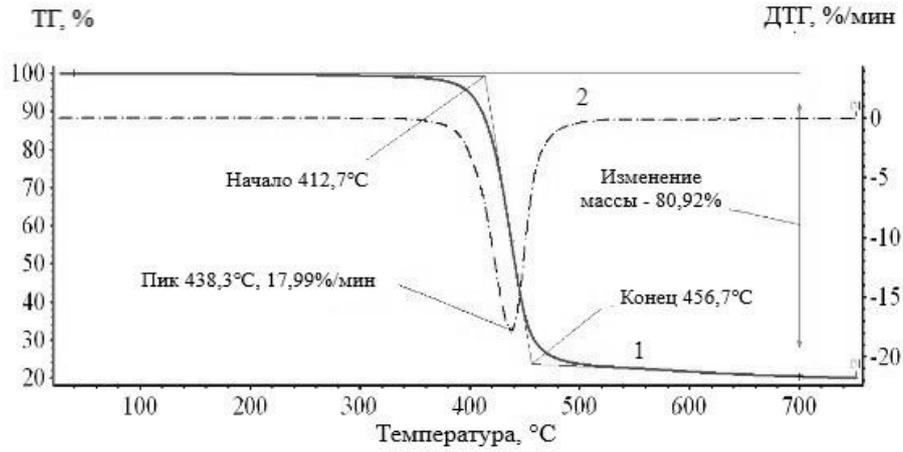


Рис. 1. Термогравиметрические кривые для образца ткани «Энигма»

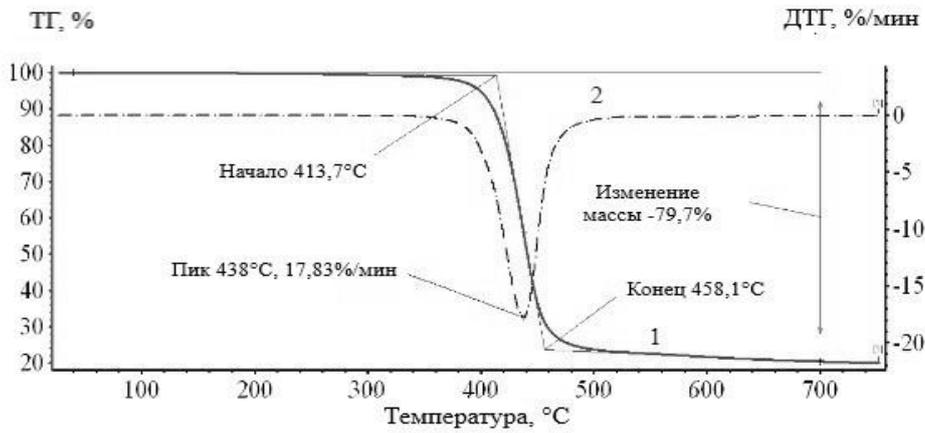


Рис. 2. Термогравиметрические кривые для образца ткани «Флок-софт»

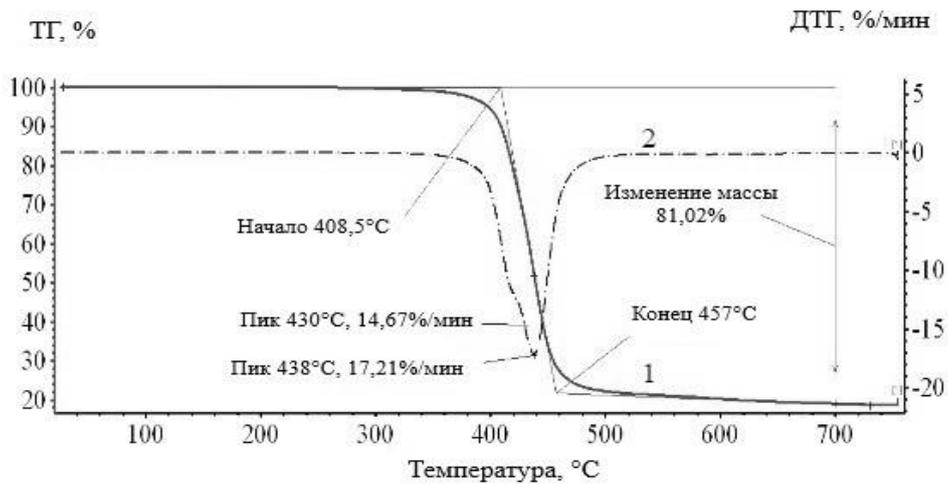


Рис. 3. Термогравиметрические кривые для образца ткани «Форест»

Из рис. 1-3 видно, что начало термического разложения образцов тканей «Энигма», «Флок-софт» и «Форест» происходит при 408 - 413°C (кривые 1). Процесс термоокислительной деструкции протекает в интервале температур от 408 до 458°C и сопровождается большой потерей массы, от начального значения, у всех трех образцов, составляя от 79 до 81%. Наиболее наглядными являются дифференциальные термогравиметрические зависимости (ДТГ). Характер кривых 2 показывает, что максимальная скорость термического разложения для ткани «Энигма» имеет место при температуре 438,3°C; для ткани «Флок-софт» эта температура составляет 438°C, а для ткани «Форест» – 430°C и 438°C, это вероятно объясняется тем, что два волокнообразующих полимера из трех (нейлон, полиэстер), используемых при производстве данного вида ткани, имеют одинаковую температуру плавления.

Скорость термического разложения образцов при указанных температурах для ткани «Энигма» составляет 17,99 %/мин, для ткани «Флок-софт» – 17,83 %/мин и для ткани «Форест» – 17,21 %/мин. Наличие пиков на кривых 2 свидетельствует о протекании термоокислительной деструкции с образованием газообразных продуктов. В условиях пожара в дан-

ном температурном интервале можно предполагать возникновение пламенного горения исследуемых материалов [6].

Методом термогравиметрии получена информация, дающая представление о характере поведения исследуемых тканей при нагревании, а результаты полученных термограмм показывают принципиальную возможность использования термического анализа для оценки пожароопасных свойств текстильных материалов.

Проведение испытаний на определение кислородного индекса, температуры самовоспламенения, исследований на воспламеняемость, распространение пламени и термогравиметрического анализа у интерьерных тканей позволило более полно оценить пожарную опасность исследуемых материалов.

Полученные экспериментальные значения показателей пожарной опасности интерьерных тканей являются важными оценочными характеристиками, позволяющими сделать выводы об их способности к возгоранию и распространению горения при воздействии тех или иных источников тепла, что представляет практический интерес для сотрудников и работников, осуществляющих экспертную деятельность.

Список литературы

1. Шебеко Ю. Р., Горшков В. И., Корольченко И. А. Методика определения условий теплового самовозгорания веществ и материалов. М.: ВНИИПО, 2004. 67 с.

2. Кулаков А. С., Сторонкина О. Е., Мочалова Т. А. Исследование температуры самовоспламенения образцов текстильных материалов в целях пожарно-технической экспертизы // Наука как призвание: теория и практика: материалы междисциплинарной научно-практической конференции с международным участием. Москва, 2020. С.165–168.

3. Таратанов Н. А., Сторонкина О. Е., Мочалова Т. А. Формирование базы данных по температуре самовоспламенения текстильных материалов в целях СПТЭ // Молодые учёные в решении актуальных проблем безопасности: сборник материалов IX всероссийской научно-практической конференции. Железногорск, 2020. С. 232–235.

4. Parausani V., Barca Fr., Rizescu E. Determinarea punctelor de aprindere ale unor combustibili solizi prin metode de analizu termodiferentiala si termogravimetrica. Chimie Analitica, 1971, vol 1, no 3, pp. 152–154.

5. Ивлев В. И., Фомин Н. Е., Юдин В. А. Термический анализ. Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 2017. 44 с.

6. Андреева Е. Д. Применение термического анализа при исследовании и экспертизе пожаров: Методическое пособие. М.: ВНИИПО, 2012. 60 с.

References

1. Shebeko U. R., Gorshkov V. I., Korol'chenko I. A. *Metodika opredeleniy usloviy teplovogo samovozgoraniy veshestv i materialov* [Method for determining the conditions of thermal spontaneous combustion of substances and materials]. M.: VNIIPPO, 2004, 67 p.

2. Kulakov A. S., Storonkina O. E., Mochalova T. A. *Issledovanie temperatury samovosplamneniy tekstil'nyh materialov v celyah pogarno-tehnicheskoy ekspertizy* [Investigation of the self-ignition temperature of samples of textile materials for the purpose of fire-technical expertise]. *Nauka kak prizvanie: teoriy i praktika: materialy megdisziplinaroy nauchno-prakticheskoy konferentsii*, M., 2020, pp. 165–168.

3. Taratanov N. A., Storonkina O. E., Mochalova T. A. *Formirovanie bazy dannyh po temperatury samovosplamneniy tekstil'nyh materialov v celyah SPTY* [Formation of a database on

the autoignition temperature of textile materials for the purpose of SPTE]. *Molodye ucyenyje v resh-enii aktual'nyh problem bezopasnosti: sbornik materialov IX vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii*, Geleznogorsk, 2020, pp. 232-235.

4. Parausani V., Barca Fr., Rizescu E. Determinarea punctelor de aprindere ale unor combustibili solizi prin metode de analizu termodiferentiala si termogravimetrica. *Chimie Analitica*, 1971, vol 1, no 3, pp. 152-154.

5. Ivlev V. I. Fomin N. Ye., Yudin V. A. *Termicheskiy analiz* [Thermal analysis]. Saransk: izd-vo Mordovskogo un-ta, 2017, 44 p.

6. Andreeva E. D. *Primenenie termicheskogo analiza pri issledovanii i ekspertize pogarov: Metodichyeskoe posobie* [The use of thermal analysis in the study and examination of fires: Methodological guide]. M.: VNIPO, 2012, 60 p.

Сторонкина Ольга Евгеньевна

Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,
Российская Федерация, г. Иваново
кандидат химических наук, доцент кафедры
E-mail: oleg1968@mail.ru

Storonkina Olga Evgen'evna

Federal State Budget Educational Establishment of Higher Education «Ivanovo Fire Rescue Academy of State Firefighting Service of Ministry of Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters»,
Russian Federation, Ivanovo
candidate of chemical sciences, associate professor
E-mail: oleg1968@mail.ru

Мочалова Татьяна Александровна

Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,
Российская Федерация, г. Иваново
кандидат биологических наук, заместитель начальника кафедры
E-mail: mihailmochalov@mail.ru

Mochalova Tat'jana Aleksandrovna

Federal State Budget Educational Establishment of Higher Education «Ivanovo Fire Rescue Academy of State Firefighting Service of Ministry of Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters»,
Russian Federation, Ivanovo
candidate of biological sciences, deputy head of department
E-mail: mihailmochalov@mail.ru

УДК 614.842.611

ИДЕНТИФИКАЦИЯ КОМПОНЕНТОВ ОГNETУШАЩИХ ПОРОШКОВ МЕТОДОМ ИК-СПЕКТРОСКОПИИ

Т. В. ФРОЛОВА, О. С. ИВАНЕНКО, Р. В. КОМАРОВ, Л. Н. ЧЕСНОКОВА*

Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,

Российская Федерация, г. Иваново

*АО «Водоканал»,

Российская Федерация, г. Иваново

E-mail: frolovatanja@mail.ru, borsek777@mail.ru, r.comaro@yandex.ru, michura@bk.ru

В статье рассматривается оценка состава различных огнетушащих порошков, приобретенных на рынке продукции пожарно-технического назначения, одним из наиболее информативных по определению подлинности веществ методом – ИК-спектроскопией. Выявлены особенности ИК-спектров исследуемых огнетушащих составов. Результаты проведенных ИК-спектроскопических исследований показывают, что ИК-спектры основного огнетушащего компонента (аммофоса) и огнетушащих порошковых составов на основе аммофоса и модифицированных шунгитом и добавками на основе торфяного сырья совпадают по полосам поглощения определенных групп. Анализ ИК-спектров огнетушащих составов модифицированных шунгитом и добавками на основе торфяного сырья показал, что метод инфракрасной спектроскопии может быть использован для идентификации огнетушащих порошковых составов на основе аммофоса.

Ключевые слова: порошковые огнетушащие составы, качество порошковых огнетушащих составов, физико-химические свойства огнетушащих порошков, идентификация, метод ИК-спектроскопии.

IDENTIFICATION OF EXTINGUISHING POWDER COMPONENTS BY IR SPECTROSCOPY

T. V. FROLOVA, O. S. IVANENKO, R. V. KOMAROV, L. N. CHESNOKOVA*

Federal State Budget Educational Establishment of Higher Education

«Ivanovo Fire Rescue Academy of State Firefighting Service of Ministry of Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters»,

Russian Federation, Ivanovo

Joint Stock Company «Vodokanal»,

Russian Federation, Ivanovo

E-mail: frolovatanja@mail.ru, borsek777@mail.ru, r.comaro@yandex.ru, michura@bk.ru

The article examines the assessment of the composition of various fire-extinguishing powders purchased on the market for fire-technical products, one of the most informative in determining the authenticity of substances by the method – IR spectroscopy. The features of the IR spectra of the investigated fire-extinguishing compositions are revealed. The results of the carried out IR spectroscopic studies show that the IR spectra of the main fire extinguishing component (ammophos) and fire extinguishing powder compositions based on ammophos and modified with shungite and additives based on peat raw materials coincide in the absorption bands of certain groups. Analysis of the IR spectra of fire extinguishing compositions modified with shungite and additives based on peat raw materials shows that the method of infrared spectroscopy can be used to identify fire extinguishing powder compositions based on mophos.

Key words: powder fire extinguishing compositions, quality of powder fire extinguishing compositions, physical and chemical properties of fire extinguishing powders, identification, method of IR spectroscopy.

Всем известно, что огнетушитель — это первичное средство противопожарной защиты, и на сегодняшний день является одним из самых распространенных. Основная функция огнетушителя состоит в ликвидации первичных очагов возгорания. В начальной стадии пожара огнетушитель может спасти жизнь и имущество, когда требуется потушить небольшое возгорание или удержать распространение пожара до прибытия пожарных. Качество работы огнетушителя зависит как от работы самого устройства, так и от состава огнетушащего порошка. Главная опасность поддельного огнетушителя заключается в отсутствии успешной локализации пламени, поскольку он может быть наполнен составом неизвестной природы.

К сожалению, в последние годы все чаще приходится слышать, что на рынке продукции пожарно-технического назначения участились случаи присутствия фальсифицированной продукции, не исключением стала подделка и огнетушащих порошковых составов [1]. Еще в 2019 году по словам Роспотребнадзора «Доля контрафактных огнетушителей, используемых в РФ, превысила 50 %. Некачественную продукцию можно встретить на рынках, в интернет-магазинах и даже в специализированных торговых точках»¹.

Мероприятия, направленные на выявление и устранение некачественной продукции, активно проводятся контролирующими органами. В ходе рейдов эксперты выполняют осмотр продукции и в случае выявления контрафакта производят конфискацию товара. Однако основная проблема некачественной (контрафактной) продукции заключается в том, что по внешнему виду такую продукцию не всегда можно отличить от качественной — необходимо проведение лабораторных испытаний.

Исходя из вышесказанного можно сделать вывод, что идентификация химического состава огнетушащего порошка является актуальной и многогранной проблемой, играющей главную роль в предупреждении таких преступлений, как фальсификация в области порошкового пожаротушения. Поэтому именно разработке экспертных методов и приемов выявления фальсификации следует уделять особое внимание как одному из приоритетных направлений обеспечения качества и эффективности огнетушащих составов.

Наиболее информативными по определению подлинности веществ являются фи-

зико-химические методы, среди которых ИК-Фурье спектроскопия является наиболее известной. Помимо точности определения содержания необходимых компонентов, этот метод известен также своей низкой стоимостью, простотой, быстротой качественного анализа, а также тем, что он является неразрушающим методом анализа. Любая молекула имеет свой, только ей присущий колебательный спектр, состоящий из набора полос разной частоты и интенсивности, именно поэтому колебательный спектр вещества является его индивидуальной характеристикой, в связи с этим ИК-спектры часто называют «отпечатком пальцев» молекулы. Учитывая все вышеперечисленные преимущества, ИК-спектроскопия может использоваться и для качественного определения состава огнетушащих порошков. Для проведения как качественного, так и количественного анализа по ИК-спектрам необходимо иметь спектры чистых компонентов. При сравнении спектра со спектром вещества, присутствие которого предполагается, находят в спектре смеси все полосы поглощения эталонного вещества. Если спектр анализируемого образца содержит все полосы поглощения эталонного вещества, можно полагать, что вещество действительно содержится в образце.

Используемые в настоящее время в пожаротушении огнетушащие порошковые составы, представляют собой механические смеси мелкоизмельченных минеральных солей (основа порошковых огнетушащих составов) с различными добавками, препятствующими слеживанию и влагопоглощению. На сегодняшний день много ученых, научно-исследовательских групп активно занимаются разработками по созданию новых составов огнетушащих порошков, обеспечивающих повышение огнетушащей способности при тушении пожаров классов А, В, С, Е как в помещениях, так и на открытом воздухе.

В качестве основы для огнетушащих порошковых составов используется достаточно широкий спектр минеральных веществ в первую очередь, это фосфорно-аммонийные соли (моно-, диаммонийфосфаты, аммофос), карбонат и бикарбонат натрия и калия. Также для получения огнетушащих порошков предлагается использовать различные природные минералы, в том числе и галит. Известны порошки для тушения пожаров, содержащие хлориды натрия (15–25 %), калия (20–25 %), бария (50–55 %) [2]. Недостатком данного состава как огнетушащего вещества является высокая склонность к слеживанию и влагопоглощению, недостаточная текучесть, приводящие к сокращению срока эксплуатации и ограниченности использования средств пожароту-

¹ Более половины огнетушителей, используемых в России – подделки [Заглавие с экрана]. URL: <https://euroresurs.su/bolee-poloviny-ognetushitelej-ispolzueмых-v-rossii-poddelki/> (дата обращения: 20.02.2021).

шения, а также высокая концентрация соединений бария, которые являются токсичными веществами.

Известен огнетушащий порошок состав (патент США № 4149976, Commissariat Energie Atomique) в котором в качестве активного компонента используется кристаллогидрат карбоната натрия ($\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$) в количестве от 47,4 мас.% до 61,4 мас.% с содержанием кристаллизационной воды от 1 до 16 мас.%. остальную долю огнетушащего порошка составляют добавки, обеспечивающие коррекцию его эксплуатационных свойств. В качестве недостатков данного огнетушащего состава определяют следующее:

- во-первых, низкое содержание кристаллизационной воды снижает теплопоглощающую способность порошка, что делает его нестабильным во времени и, в конечном счете, влияет на огнетушащую способность порошкового состава;

- во-вторых, высокая гигроскопичность, поскольку кристаллогидрат ($\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$) так же как и его исходная соль Na_2CO_3 хорошо растворим в воде. Составы, содержащие в качестве активных тушащих компонентов гигроскопические неорганические соли, склонны к слеживаемости вследствие переменной влажности окружающей среды, возникающей при изменении температуры даже в герметически закрытых емкостях. Это приводит к ухудшению текучести, и, следовательно, к ухудшению огнетушащих свойств порошка. Такие огнетушащие порошки требуют включения в них в большом количестве добавок, предохраняющих их от слеживания и повышающих их устойчивость в процессе хранения, а также добавок повышающих текучесть порошков, которые в свою очередь снижают относительное содержание активного компонента в

нем, а, следовательно, и огнетушащую способность. Кроме того, подготовка добавок, их измельчение, классификация, дозировка, перемешивание с активным компонентом усложняют технологический процесс подготовки смеси огнетушащего порошка и, следовательно, удорожают процесс его производства [3].

Для инструментального исследования были выбраны два (I, II) огнетушащих порошковых состава, на основе промышленно выпускаемого ОП «Волгалит ABC» с различными добавками. Основным тушащим компонентом в испытуемых образцах является аммофос – образец III (смесь моноаммонийфосфата и диаммонийфосфата $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4 + (\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$).

Огнетушащий порошок состав №I («Волгалит ABC») имеет добавку природного минерала шунгит. Порошок обеспечивает более эффективное тушение очагов горения, связывание и нейтрализацию нефтепродуктов и предотвращение повторного возгорания.

Огнетушащий порошок состав №II содержит добавки на основе торфяного сырья (гидрофобно-модифицирующая добавка на основе органического вещества торфа 0,1-7,0; аммофос 35-60; сульфат аммония 25-35; нерастворимый в воде минерал или смесь минералов до 100) [4, 5].

При изучении составов огнетушащих порошков ИК-спектры поглощения записывали в области $4000-400 \text{ см}^{-1}$. Спектры записывались на Фурье-спектрометре инфракрасном VERTEX 80v (Bruker Optic GmbH, Германия). Образцы к работе готовили в виде таблеток с KBr.

Положение основных полос ИК-спектров для образцов I – III (рис. 1, 2), приведены в табл.

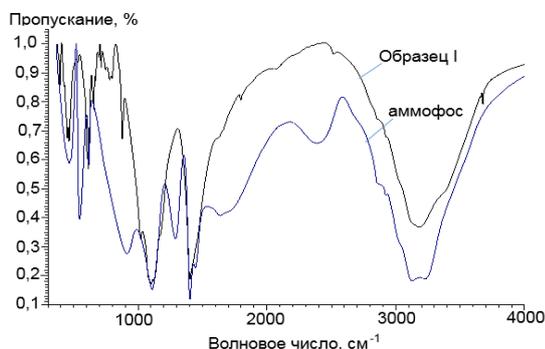


Рис. 1. ИК-спектры образца I и эталона - аммофоса

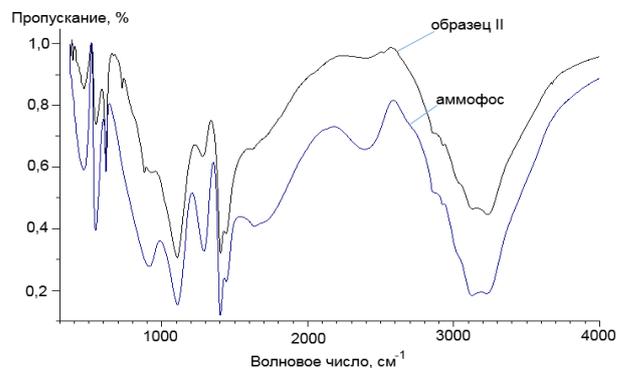


Рис. 2. ИК-спектры образца II и эталона - аммофоса

Таблица. Полосы ИК-спектров поглощения образцов огнетушащих порошковых составов (I и II, III), полученные на Фурье спектрометре (см^{-1})

Образец I	Образец II	Аммофос (III)
3363	3232	3232
3180	3129	3129
2521	2859	2389
2064	2398	1707
1800	1626	1644
1625	1444	1445
1402	1405	1405
1280	1281-1284	1201-1286
1101	1104	1112
1015	927-924	913
878	879	619
797	729	548
777	619-617	460
710	549	
668	469	
659	393	
612	372	
465		
450		
426		
394		

Анализ ИК-спектров огнетушащих порошковых составов на основе аммонийфосфатного удобрения, модифицированных шунгитом и добавками на основе торфяного сырья, при использовании известных данных о характеристических частотах отдельных функциональных групп позволил провести отнесение полос поглощения и установить структурные закономерности.

При сравнении ИК-спектров аммофоса, и двух огнетушащих порошковых составов на основе аммонийфосфатного удобрения, модифицированных шунгитом и торфом, явно выделяют четыре области полос поглощения, $3500\text{-}2900\text{ см}^{-1}$, $2600\text{-}1700\text{ см}^{-1}$, $1600\text{-}900\text{ см}^{-1}$ и наименьшая $600\text{-}400\text{ см}^{-1}$.

Результаты проведенных ИК-спектроскопических исследований показывают, что ИК-спектры основного огнетушащего компонента (аммофоса) и огнетушащих порошковых составов на основе аммофоса и модифицированных шунгитом (I) и добавками на основе торфяного сырья (II) совпадают по полосам поглощения определенных групп. Так, например, в диапазоне $1650\text{-}1590\text{ см}^{-1}$ наблюдаются плоские деформационные колебания групп N-H и NH_2 , полосы в области $1600\text{-}1400\text{ см}^{-1}$ соответствуют деформационным колебаниям NH_3^+ , NH_2^+ , NH^+ .

В области валентных колебаний H_2PO_4^- аниона наблюдается изменение интенсивности одной из двух полос $1281\text{-}1284\text{ см}^{-1}$ для состава II, в то время как для состава I наблюдается только одна такая полоса в области 1280 см^{-1} , вероятно, из-за наличия многокомпонентного состава шунгита.

Полоса $[\text{PO}_4]^{2-}$ смещается в низкочастотную область (с 938 до $927\text{-}924\text{ см}^{-1}$) для образца II, а для I огнетушащего состава такая характерная полоса наблюдается в области 1015 см^{-1} .

Наличие полос поглощения в области 1101 и 1104 см^{-1} соответствуют асимметричным и симметричным валентным колебаниям связи Si-O-Si в образцах I и II. Появление таких полос для огнетушащего состава (I) связано с минеральным составом шунгита, во II образце - скорее всего, обуславливается присутствием добавок на основе торфяного сырья.

В целом можно заключить, что метод инфракрасной спектроскопии может быть использован для идентификации огнетушащих порошковых составов на основе аммофоса. ИК-спектры таких огнетушащих составов, модифицированных шунгитом и добавками на основе торфяного сырья однозначно показывают наличие основных полос, принадлежащих аммофосу.

Список литературы

1. Чеснокова Л. Н., Фролова Т. В., Иваненко О. С., Карасев Е. В. Современные исследования огнетушащих порошков ABC // Современные проблемы гражданской защиты. 2020. №4 (37). С. 167–170.
2. Патент 2735696 Российская Федерация МПК А62D 1/00. Огнетушащий порошковый состав / О. Г. Горовых, В. В. Тышлек; опубл. 06.11.2020, Бюл. №31.
3. Патент 2277003 Российская Федерация МПК А62D 1/00. Огнетушащий порошковый состав / С. Н. Вершинин; опубл. 27.05.2006, Бюл. №15.
4. Мисников О. С., Дмитриев О. В., Попов В. И. Исследование свойств огнетушащих порошков, модифицированных торфяными гидрофобными добавками // Труды Инсторфа. 2013. № 8 (61). С. 23–32.
5. Патент 2605056 Российская Федерация МПК А62D 1/00. Огнетушащий порошок многоцелевого назначения / О. В. Дмитриев, В. И. Попов, О. С. Мисников, И. А. Малый, И. Ю. Шарабанова; опубл. 20.12.2016, Бюл. №35.

Фролова Татьяна Владиславовна

Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,
Российская Федерация, г. Иваново
кандидат химических наук, старший преподаватель
E-mail: frolovatanja@mail.ru

Frolova Tat'yana Vladislavovna

Federal State Budget Educational Establishment of Higher Education «Ivanovo Fire Rescue Academy of State Firefighting Service of Ministry of Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters»,
Russian Federation, Ivanovo
candidate of chemical sciences, senior lecturer
E-mail: frolovatanja@mail.ru

Иваненко Олег Сергеевич

Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,
Российская Федерация, г. Иваново
курсант 512.1 учебной группы факультета пожарной безопасности
E-mail: borsek777@mail.ru

Ivanenko Oleg Sergeevich

Federal State Budget Educational Establishment of Higher Education «Ivanovo Fire Rescue Academy of State Firefighting Service of Ministry of Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters»,
Russian Federation, Ivanovo
cadet of the 512.1 training group of the faculty of fire safety
E-mail: borsek777@mail.ru

References

1. Chesnokova L. N., Frolova T. V., Ivanenko O. S., Karasev E. V. Sovremennye issledovaniya ogetushashchih poroshkov ABC [Contemporary researches of extinguishing powders ABC]. *Sovremennye problemy grazhdanskoj zashchity*, 2020, issue 4 (37), pp. 167–170.
2. Gorovyh O. G., Tyshlek V. V. *Ogetushashchij poroshkovyj sostav* [Fire extinguishing powder composition], Patent 2735696 Rossijskaya Federaciya IPC A62D 1/00, opubl. 06.11.2020, Byul. №31.
3. Vershinin S. N. *Ogetushashchij poroshkovyj sostav* [Fire extinguishing powder composition], Patent 2277003 Rossijskaya Federaciya IPC A62D 1/00, opubl. 27.05.2006, Byul. №15.
4. Misnikov O. S., Dmitriev O. V., Popov V. I. Issledovanie svojstv ogetushashchih poroshkov, modifitsirovannyh torfyanyimi gidrofobnymi dobavkami [Research of properties of dry chemical powders modified by peat based hydrophobic additives]. *Trudy Instorfa*, 2013, issue 8 (61), pp. 23-32.
5. Dmitriev O. V., Popov V. I., Misnikov O. S., Malyj I. A., Sharabanova I. Yu. *Ogetushashchij poroshok mnogocelovogo naznacheniya* [Multi-purpose fire extinguishing powder], Patent 2605056 Rossijskaya Federaciya IPC A62D 1/00, opubl. 20.12.2016, Byul. №35.

Комаров Роман Владимирович

Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,
Российская Федерация, г. Иваново

магистрант

E-mail: r.comaro@yandex.ru

Komarov Roman Vladimirovich

Federal State Budget Educational Establishment of Higher Education «Ivanovo Fire Rescue Academy of State Firefighting Service of Ministry of Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters»,

Russian Federation, Ivanovo

undergraduate

E-mail: r.comaro@yandex.ru

Чеснокова Любовь Николаевна

АО «Водоканал»

Российская Федерация, г. Иваново

кандидат химических наук, инженер Центра контроля качества воды

E-mail: michura@bk.ru

Chesnokova Lyubov' Nikolaevna

Joint Stock Company «Vodokanal»

Russian Federation, Ivanovo

candidate of chemical sciences, Water Quality Control Center Engineer

E-mail: michura@bk.ru

УДК 614.841:504.5

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СОСТАВА ПРОДУКТОВ ГОРЕНИЯ ТВЕРДЫХ КОММУНАЛЬНЫХ ОТХОДОВ

И. Р. ХАСАНОВ, Ю. К. НАГАНОВСКИЙ, В. В. БУЛГАКОВ, О. В. СТЕРНИНА

Федеральное государственное бюджетное учреждение «Всероссийский ордена «Знак Почета»
научно-исследовательский институт противопожарной обороны МЧС России»

Российская Федерация, г. Балашиха

E-mail: vbul@list.ru

Рассмотрены особенности пожарной и экологической опасности полигонов твердых коммунальных отходов. Предложена методика экспериментального исследования качественного и количественного состава продуктов горения твердых коммунальных отходов. В основу исследований положены методики пробоотбора и разделения многокомпонентных смесей, их количественного анализа с использованием газового хроматографа и качественного анализа компонентов с помощью методов хромато-масс-спектрометрии и ИК-Фурье-спектрометрии. Получены данные по составу продуктов горения основных горючих материалов, входящих в твердые коммунальные отходы. Приведены количественные показатели токсичных продуктов горения для различных видов материалов. Полученные экспериментальные данные о количественном и качественном составе продуктов горения следует учитывать при оценке санитарно-защитных зон вокруг полигонов коммунальных и бытовых отходов, а также при определении показателей индивидуального риска и комплексной оценки безопасности территорий.

Ключевые слова: продукты горения, пожарная безопасность, твердые коммунальные отходы, полигоны отходов, экологическая безопасность.

EXPERIMENTAL STUDIES OF THE COMPOSITION COMBUSTION PRODUCTS OF SOLID MUNICIPAL WASTE

I. R. KHASANOV, Yu. K. NAGANOVSKII, V. V. BULGAKOV, O. V. STERNINA

Federal State Budgetary Establishment All-Russian Research Institute for Fire Protection of the Ministry
of the Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination
of Consequences of Natural Disasters

Russian Federation, Balashikha

E-mail: vbul@list.ru

The features of fire and environmental hazards of solid municipal waste landfills are considered. A method of experimental investigation of the qualitative and quantitative composition of combustion products of solid municipal waste products is proposed. The research is based on the methods of sampling and separation of multicomponent mixtures, their quantitative analysis using a gas chromatograph, and qualitative analysis of components using chromatography-mass spectrometry and Fourier transform infrared spectrometer. The data on the composition of the combustion products of the main combustible materials included in solid municipal waste are obtained. The paper presents quantitative indicators of toxic combustion products for various types of materials. The experimental data obtained on the quantitative and qualitative composition of combustion products should be taken into account when assessing the sanitary protection zones around municipal and household waste landfills, as well as when determining individual risk indicators and a comprehensive assessment of the safety of territories.

Key words: combustion products, fire safety, solid municipal waste, landfills, environmental safety.

Введение

В результате хозяйственной деятельности в Российской Федерации накоплено свыше 30000 млн. тонн отходов. Согласно «Стратегии развития промышленности по обработке, утилизации и обезвреживанию отходов производства и потребления на период до 2030 года»¹ около 15 тыс. санкционированных полигонов размещения отходов занимают территорию общей площадью примерно 4 млн. гектаров, и эта территория ежегодно увеличивается на 300–400 тыс. гектаров. Остро стоит проблема накопления и утилизации твердых коммунальных отходов (ТКО), включая бытовые отходы. Ежегодно в России образуется около 70 млн. тонн ТКО, из которых перерабатывается всего 5–7 % мусора. На полигонах ТКО сосредоточены большие объемы горючих материалов: бумага и картон 36–42 %, полимеры 5–6 %; текстиль 3–6 %, кожа и резина 1,5–3 %; древесные отходы 1–5 %. В состав ТКО также входят пищевые отходы 24–35 %, металлы 3–6 %, стекло 3–6 % и др.

Проблема экологической безопасности полигонов и свалок ТКО связана непосредственно с загрязнением окружающей среды отходами, а также с возникновением на них пожаров, которые создают серьезные экологические риски. Образующиеся при пожарах токсичные продукты горения распространяются в атмосфере, загрязняя окружающую среду в радиусе нескольких километров, распространяясь на населенные пункты и создавая угрозу здоровью людей.

Проблемы экологической и пожарной опасности полигонов ТКО рассмотрены в [1–4]. В работе [1] рассмотрены теплотехнические характеристики отходов и причины возникновения пожаров ТКО. Плотность (насыпная масса) отходов, поступающих на полигон ТКО, составляет 0,2–0,3 т/м³, влажность колеблется от 40 до 55 %, содержание органического вещества (в процентах на сухую массу) — до 70 %. Отмечено, что причинами возгорания являются: внешние причины — использование открытого огня, нарушение правил пожарной безопасности, разряды молний и т.д.; внутренние причины — самовозгорание в результате реакции окисления и биохимических процессов.

В работе [2] основной причиной пожаров на полигонах ТКО отмечено биохимиче-

ское разложение отходов, которое повышает температуру отходов до 40–70°C, что активизирует процессы химического окисления и ведёт к дальнейшему повышению температуры.

Общие вопросы утилизации и хранения ТКО, проблемы возникновения пожара и идентификация причин их возникновения рассмотрены в [3, 4]. На основе анализа литературных источников построено дерево причин возникновения пожара на полигоне ТКО и отмечена необходимость разработки дополнительных организационных и технических мероприятий.

Вопросы, связанные с пожарами на полигонах ТКО, изучались во многих странах, например, [5–8]. В США проблема экологической опасности пожаров ТКО подробно рассмотрена в [5]. Состав горючих отходов аналогичен составу ТКО в России. Наблюдается незначительное процентное увеличение количества полимеров до 10,5 %, дерева — 5,3 %, кожи и резины — 6,6 %. Зафиксированные длительные подземные пожары на полигонах ТКО показали, что уровень концентрации диоксида углерода превышает допустимый в США предел концентрации 50 мг/кг (50 ppm) и достигают, как правило, 1000 мг/кг (1000 ppm).

Еще одной серьезной проблемой при пожарах на свалках является выброс высокотоксичных диоксинов, которые могут вызывать проблемы в области репродуктивного здоровья и развития, поражения иммунной системы, гормональные нарушения и раковые заболевания. Так, в США аварийные пожары на свалках и неконтролируемое сжигание бытовых отходов считаются крупнейшими источниками выбросов диоксинов [5].

Наблюдавшиеся пожары на полигонах ТБО показали, высокую опасность образующихся токсичных продуктов горения. При этом отмечается сложный состав отходов, которые содержат различные горючие материалы и вещества. В связи с этим, актуальным является проведение исследований по оценке параметров и состава продуктов горения ТКО в целях обоснованной оценки санитарно-защитных зон вокруг полигонов ТКО и разработки организационных и технических противопожарных мероприятий. Целью данного исследования является на основе предложенных экспериментальных методик проведение оценки качественного и количественного состава продуктов горения веществ и материалов, входящих в ТКО.

Методика исследований

Пожары на полигонах и свалках ТКО можно разделить на два вида: наземные (поверхностные) и подземные пожары. Поверхностные пожары включают в себя отходы, расположенные на поверхности, и, как правило,

¹ Стратегия развития промышленности по обработке, утилизации и обезвреживанию отходов производства и потребления на период до 2030 года. Распоряжение Правительства Российской Федерации от 25 января 2018 г. № 84-р. URL: <http://government.ru/docs/all/115184/> (дата обращения: 25.01.2021).

имеют глубину до 1 м [5]. Тлеющие поверхностные пожары обычно развиваются при относительно низких температурах (до 85⁰С) [9] и характеризуются выделением дымового аэрозоля и продуктов неполного сгорания. Наблюдаются также пожары с открытым горением, например, горение резины (шины). В этом случае температура в зоне горения может быть довольно высокой. Подземные тлеющие пожары на полигонах ТКО происходят глубоко под поверхностью и затрагивают материалы, возраст которых составляет месяцы или годы. Такие пожары сопровождаются повышенными концентрациями оксида углерода и образованием пустот.

В связи с этим исследования качественного и количественного состава продуктов горения различных групп материалов, характерных для ТКО, проводились для двух режимов горения: при термоокислительном разложении, характерным для тлеющих пожаров, и открытом горении. При тлении твердых отходов в состав продуктов горения входят оксид и диоксид углерода, сернистый водород, водорода, аммиак, окислы азота и низкомолекулярные ароматические соединения. При горении основные продукты: диоксид углерода, диоксид азота, оксид углерода, диоксид серы и др. [9].

Для получения требуемых данных в процессе исследований применялись разработанные в ФГБУ ВНИИПО МЧС России методики определения качественного и количественного состава продуктов горения на основе методов газовой хроматографии, хромато-масс-спектрометрии, ИК-Фурье-спектрометрии и др. [10-12]. Исследования проводились на создан-

ном лабораторном комплексе, а при анализе результатов также использовались данные, полученные на маломасштабных фрагментах и натуральных объектах.

Анализ качественного и количественного состава продуктов горения включал следующие основные этапы: пробоотбор, разделение и детектирование многокомпонентных смесей, а также их идентификацию. В работе использовались современные приборы совмещенного термического анализа (ТГ-ИК Фурье) и газового анализа (хроматограф, масс-спектрометр). Обработка результатов исследований проводилась с применением специального программного обеспечения. Кроме того, на предварительном этапе проводился анализ продуктов горения с использованием газоопределителей химических и трубок индикаторных.

Разработанные экспериментальные методики проведения испытаний прошли апробацию и были использованы для оценки экологической опасности горения различных веществ и материалов [13, 14].

Результаты исследований

При проведении исследований по оценке параметров и состава продуктов горения ТКО использовались характерные для отходов материалы: образцы древесностружечной плиты (ДСП), газетная бумага, шёлк, натуральная кожа, поролон, резина и др.

В табл. 1 представлены обобщенные результаты экспериментальных исследований состава продуктов горения (в процентах от общего количества) основных горючих материалов ТКО.

Таблица 1. Состав продуктов горения, образующихся при горении различных материалов, %

Компонент	ДСП	Бумага	Шёлк	Древесина с лакокрасочным покрытием	Резина	Поролон	Натуральная кожа
Водород	-	0,65	0,38	0,40	0,26	0,54	0,24
Оксид углерода	2,15	2,45	1,45	2,05	1,50	1,55	2,45
Диоксид углерода	68,6	67,3	42,6	72,4	41,6	25,2	58,2
Метан	1,80	3,20	3,10	2,40	2,20	2,50	1,35
Этилен	0,80	2,00	1,98	1,20	2,00	4,00	2,00
Этан	0,18	0,40	0,40	0,30	0,42	0,80	0,40
Пропилен	1,96	2,38	2,10	1,68	3,32	2,24	2,18
Бутилен	1,50	0,20	0,14	0,18	0,75	0,40	0,23
Ацетальдегид	1,06	2,96	3,70	0,80	1,89	5,75	0,56
Ацетон	0,50	0,26	0,60	0,08	0,08	0,08	0,18
Аллиловый спирт	0,50	0,28	0,23	0,18	0,03	0,25	0,09
Уксусная кислота	0,14	0,24	0,25	0,11	0,06	0,05	0,61

Компонент	ДСП	Бумага	Шёлк	Древесина с лакокрасочным покрытием	Резина	Поролон	Натуральная кожа
Бензол	0,38	0,25	0,38	0,67	1,80	0,73	0,71
Толуол	0,34	0,25	0,22	0,38	2,50	0,41	0,22
Ксилол	0,14	0,03	0,04	0,07	0,69	0,04	0,25
Кумол	0,05	0,01	0,01	0,04	0,37	0,06	0,08
Стирол	0,19	0,06	0,06	-	0,62	1,67	0,15
Нафталин	0,08	0,02	0,01	-	0,45	-	0,06
Фенол	0,10	0,09	0,15	-	0,04	-	0,22
Крезол	0,06	0,07	0,11	-	-	-	0,18
Ксиленол	0,01	0,02	-	-	-	-	0,01
Метилловый спирт	0,80	0,47	0,63	-	-	0,16	-

Из табл. 1 видно, что все исследуемые материалы при горении выделяют различные токсичные продукты горения. Для всех материалов наибольшая часть в составе продуктов горения составляют диоксид углерода (до 70 %) и оксид углерода (от 1 до 3 %).

Особую опасность представляют продукты горения материалов, содержащие связанный азот (шерсть, кожа, поролон). У материалов, содержащих мало связанного азота (ДСП, бумага, ацетатный шелк, резина), токсичность определяется, в основном, оксидом углерода. Однако в продуктах горения бумаги и шелка большую опасность представляют также аллиловый спирт и крезол; в продуктах горения резины — ацетальдегид, толуол, нафталин.

В составе ТКО количество изделий из полимеров и пластмасс (одноразовая посуда, пластиковая тара, упаковка от продуктов питания и др.) постоянно увеличивается. Наиболее часто встречаются смеси термопластичного вторичного сырья, содержащего полиэтилен, полистирол и поливинилхлорид. В зависимости от структуры полимеров при сжигании 1 кг полимерных отходов образуется помимо хлорорганических и углеродных летучих соединений до 30 мг диоксинов, которые являются высокотоксичными и стойкими веществами, имеющими кумулятивный характер [15].

Основные виды токсичных газов, выделяющихся при горении пластических материалов, приведены в табл. 2.

Таблица 2. Виды токсичных газов, выделяющихся при горении пластических материалов

Наименование материалов	Основные токсические продукты
Органическое волокно, полистирол	Оксид углерода, оксиды азота, акрилонитрил
Фторопласты	Оксид углерода, фторфосген, фтористый водород
Винипласт	Оксид углерода, хлористый водород,
Капрон	Оксид углерода, цианистый водород
Целлулоид	Оксид углерода, цианистый водород, окислы азота
Линолеумы	Оксид углерода, сероводород, сернистый газ, хлористый водород
Полиуретаны	Оксид углерода, цианистый водород, изоцианид
Фенольно-резольные пенопласты	Оксид углерода, оксиды азота, акрилонитрил, цианистый водород

Полученные экспериментальные данные о количественном и качественном составе продуктов горения при пожарах ТКО показывают серьезную опасность для персонала, обслуживающего полигон, и населения, проживающего вблизи полигонов и свалок ТКО. Концентрация в воздухе отдельных продуктов горения на полигоне ТКО выше установленных значений предельно допустимой концентрации, что требует

принятия соответствующих организационных и технических мер по защите постоянно работающего персонала. Продукты горения содержат особо опасные токсиканты (оксид углерода, диоксины, полиароматические углеводороды, цианистый водород, сера, хлористый водород и др.), которые при продолжительных пожарах могут распространяться на большие расстояния, создавая угрозу здоровью населения.

Заключение

Проведены комплексные исследования качественного и количественного состава образующихся при горении, термоокислительном разложении и пиролизе материалов ТКО с использованием методов термического анализа, ИК-Фурье-спектрометрии, газовой хроматографии и хромато-масс-спектрометрии.

В результате проведенного комплекса экспериментальных исследований получены данные по составу продуктов горения материалов, составляющих основу горючей нагрузки ТКО. Приведен количественный состав токсичных продуктов горения для различных видов материалов. Отдельно выделен состав токсичных продуктов горения пластических материалов.

Установлено, что продукты горения ТКО содержат опасные токсиканты (оксиды углерода; диоксины, полиароматические углеводороды, сера, хлористый водород и др.), которые при воздействии на человека несут кумулятивный характер и могут вызвать различные заболевания.

Полученные данные о количественном и качественном составе продуктов горения ТКО следует учитывать при оценке санитарно-защитных зон вокруг полигонов ТКО, а также при определении показателей индивидуального риска и комплексной оценки безопасности территорий.

Список литературы

1. Середа Т. Г., Михайлова М. А., Шалаева Е. В. Проблемы пожарной безопасности полигонов твердых бытовых отходов // Экология и безопасность в техносфере: современные проблемы и пути решения: сборник трудов Всероссийской научно-практической конференции. Томск: Изд-во Томского политехнического университета. 2013. С. 336–341.
2. Ашихмина Т. В., Овчинникова Т. В. Проблемы обеспечения пожарной и экологической безопасности на полигонах ТБО // Современные технологии обеспечения гражданской обороны и ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций. 2015. № 1(6). С. 56–58.
3. Воробьева С. О., Анищенко Ю. В. Опасность возникновения пожара на полигоне ТБО // Экология и безопасность в техносфере: современные проблемы и пути решения: сборник трудов Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых, аспирантов и студентов. Томск: Изд-во Томского политехнического университета. 2017. С. 586–588.
4. Итышев И. К., Потапова С. О. О проблемах пожарной безопасности твердых бытовых отходов и мест их хранения // Пожарная безопасность: проблемы и перспективы. 2018. том 1. № 9. С. 292–300.
5. Landfill fires, their magnitude, characteristics and mitigation. Tech. Rep. FA-225. FEMA, USA, 2002. 26 p.
6. Ettala M., Rahkonen P., Rossi E., Mangs J., Keski-Rahkonen O. Landfill Fires in Finland. Waste Management & Research, 1996, no. 14, pp. 377–384.
7. Aderemi A. O., Otitolaju A. A. An Assessment of Landfill Fires and Their Potential Health Effects - a Case Study of a Municipal Solid Waste Landfill in Lagos, Nigeria. International Journal of Environmental Protection, 2012, vol. 2, no. 2, pp. 22–26
8. Review and Investigation of deep-seated fires within landfill sites. Science Report: SC010066. Environment Agency, UK, 2007. 98 p.
9. Середа Т. Г., Кушнарёва О. В., Костарев С. Н., Устинов А. И., Михайлова М. А. Снижение пожаровзрывоопасности объектов депонирования отходов // Пожарная безопасность. 2008. № 3. С. 84–89.
10. Гиндуллина Т. М., Дубова Н. М. Хроматографические методы анализа: учебно-методическое пособие. Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2010. 80 с.
11. Лебедев А. Т. Масс-спектрометрия для анализа объектов окружающей среды. М.: Техносфера, 2013. 632 с.
12. Илларионова Е. А. Сыроватский И. П. Газовая хроматография. Теоретические основы метода: учебное пособие. Иркутск: ИГМУ, 2018. 52 с.
13. Сядук В. Л., Хасанов И. Р., Дуганов В. А. Экологическая опасность продуктов горения нефти и нефтепродуктов // Снижение риска гибели людей при пожарах: материалы XVIII науч.-практ. конф. Ч. 1. М.: ВНИИПО. 2003. С. 127–128.
14. Хасанов И. Р., Булгаков В. В. Прогнозирование экологической опасности пожаров на предприятиях по производству пенополиуретана // Чрезвычайные ситуации: предупреждение и ликвидация: материалы Международной науч.-практ. конф., посвященной 150-летию пожарной службы Республики Беларусь. Ч. 2. Минск: Изд. Центр БУУ. 2003. С. 153–154.
15. Хасанов И. Р., Гомозов А. В., Зотов С. В., Булгаков В. В. Методика определения размера вреда, причиненного окружающей среде загрязнением атмосферного воздуха в результате пожара // Лесные и степные пожа-

ры: возникновение, распространение, тушение и экологические последствия: материалы 6-й Международной конференции. Томск: ТГУ. 2005. С. 95–96.

References

1. Sereda T. G., Mikhaylova M. A., Shalaeva E. V. Problemy pozharnoy bezopasnosti poligonov tverdykh bytovykh otkhodov [Problems of fire safety of solid waste landfills] *Ekologiya i bezopasnost' v tekhnosfere: sovremennye problemy i puti resheniya: sbornik trudov Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii*. Tomsk: Izd-vo Tomskogo politekhnicheskogo universiteta, 2013, pp. 336–341.
2. Ashikhmina T. V., Ovchinnikova T. V. Problemy obespecheniya pozharnoy i ekologicheskoy bezopasnosti na poligonakh TBO [Problems of ensuring fire and environmental safety at landfills]. *Sovremennye tekhnologii obespecheniya grazhdanskoy oborony i likvidatsii posledstviy chrezvychaynykh situatsiy*, 2015, issue 1(6), pp. 56–58.
3. Vorob'yeva S. O., Anishchenko Yu. V. Opasnost' vozniknoveniya pozhara na poligone TBO [Risk of fire at the landfill]. *Ekologiya i bezopasnost' v tekhnosfere: sovremennye problemy i puti resheniya: sbornik trudov Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii molodykh uchenykh, aspirantov i studentov*. Tomsk: Izd-vo Tomskogo politekhnicheskogo universiteta, 2017, pp. 586–588.
4. Ityshev I. K., Potapova S. O. O problemakh pozharnoy bezopasnosti tverdykh bytovykh otkhodov i mest ikh khraneniya [About problems of fire safety of solid household waste and places of their storage]. *Pozharnaya bezopasnost': problemy i perspektivy*, 2018, vol. 1, issue 9, pp. 292–300.
5. *Landfill fires, their magnitude, characteristics and mitigation*. Tech. Rep. FA-225. FEMA, USA, 2002, 26 p.
6. Ettala M., Rahkonen P., Rossi E., Mangs J., Keski-Rahkonen O. Landfill Fires in Finland. *Waste Management & Research*, 1996, issue 14, pp. 377–384.
7. Aderemi A. O., Otitoloju A. A. An Assessment of Landfill Fires and Their Potential Health Effects - a Case Study of a Municipal Solid Waste Landfill in Lagos, Nigeria. *International Journal of Environmental Protection*, 2012, vol. 2, issue 2, pp. 22–26.
8. *Review and Investigation of deep-seated fires within landfill sites*. Science Report: SC010066. Environment Agency, UK, 2007, 98 p.
9. Sereda T. G., Kushnareva O. V., Kostarev S. N., Ustinov A. I., Mikhaylova M. A. Snizhenie pozharovzryvoopasnosti ob"ektov deponirovaniya otkhodov [Reducing the fire and explosion hazard of waste deposit facilities]. *Pozharnaya bezopasnost'*, 2008, issue 3, pp. 84–89.
10. Gindullina T. M., Dubova N. M. *Khromatograficheskie metody analiza: uchebno-metodicheskoe posobie* [Chromatographic methods of analysis: a training manual]. Tomsk: Izd-vo Tomskogo politekhnicheskogo universiteta, 2010, 80 p.
11. Lebedev A. T. *Mass-spektrometriya dlya analiza ob"ektov okruzhayushchey sredy* [Mass spectrometry for the analysis of environmental objects]. M.: Tekhnosfera, 2013, 632 p.
12. Illarionova E. A., Syrovatskiy I. P. *Gazovaya khromatografiya. Teoreticheskie osnovy metoda: uchebnoe posobie* [Gas chromatography. Theoretical foundations of the method: textbook]. Irkutsk: IGMU, 2018, 52 p.
13. Syaduk V. L., Khasanov I. R., Duganov V. A. Ekologicheskaya opasnost' produktov goreniya nefi i nefteproduktov [Environmental hazards of oil and petroleum products gorenje products]. *Snizhenie riska gibeli lyudey pri pozharakh: materialy XVIII nauch.-prakt. konf. part 1*. M.: VNIPO, 2003, pp. 127–128.
14. Khasanov I. R., Bulgakov V. V. Prognozirovaniye ekologicheskoy opasnosti pozharov na predpriyatiyakh po proizvodstvu penopoliuretana [Forecasting of the environmental hazard of fires at enterprises producing polyurethane foam]. *Chrezvychaynye situatsii: preduprezhdenie i likvidatsiya: materialy Mezhdunarodnoy nauch.-prakt. konf., posvyashchennoy 150-letiyu pozharnoy sluzhby Respubliki Belarus'. part 2*. Minsk: Izd. Tsentru BUU, 2003, pp. 153–154.
15. Khasanov I. R., Gomofov A. V., Zotov S. V., Bulgakov V. V. Metodika opredeleniya razmera vreda, prichinennogo okruzhayushchey srede zagryazneniem atmosfernogo vozdukh v rezul'tate pozhara [Methodology for determining the amount of damage caused to the environment by atmospheric air pollution as a result of a fire]. *Lesnye i stepnye pozhary: vozniknovenie, rasprostraneniye, tusheniye i ekologicheskie posledstviya: materialy 6 Mezhdunarodnoy konferentsii*. Tomsk: TGU, 2005, pp. 95–96.

Хасанов Ирек Равильевич
ФГБУ ВНИИПО МЧС России,
Российская Федерация, г. Балашиха
доктор технических наук, главный научный сотрудник
E-mail: irhas@rambler.ru

Khasanov Irek Ravilevich
FGBU VNIIPО EMERCOM of Russia,
Russian Federation, Balashikha
doctor of technical sciences, main researcher
E-mail: irhas@rambler.ru

Нагановский Юрий Кузьмич
ФГБУ ВНИИПО МЧС России
Российская Федерация, г. Балашиха
кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник,
E-mail: reut11731@mail.ru

Naganovskii Yury Kuzmich
FGBU VNIIPО EMERCOM of Russia
Russian Federation, Balashikha
candidate of technical sciences, leading researcher
E-mail: reut11731@mail.ru.,

Булгаков Владимир Васильевич
ФГБУ ВНИИПО МЧС России,
Российская Федерация, г. Балашиха
кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник
E-mail: vbul@list.ru

Bulgakov Vladimir Vasilyevich
FGBU VNIIPО EMERCOM of Russia,
Russian Federation, Balashikha
candidate of technical sciences, leading researcher
E-mail: vbul@list.ru

Стернина Ольга Вячеславовна
ФГБУ ВНИИПО МЧС России,
Российская Федерация, г. Балашиха
старший научный сотрудник
E-mail: sternina-70@mail.ru

Sternina Olga Vyacheslavovna
FGBU VNIIPО EMERCOM of Russia,
Russian Federation, Balashikha
senior researcher
E-mail: sternina-70@mail.ru

**ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ СТРОИТЕЛЬСТВА
И ГОРОДСКОГО ХОЗЯЙСТВА**
ECOLOGICAL SAFETY OF CONSTRUCTION AND URBAN MANAGEMENT

УДК 543

**СПОСОБ ПОВЫШЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ПРОЦЕДУР АНАЛИЗА
ОБЪЕКТОВ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ**

М. В. ИВАНОВА, И. Б. ЖУРАВЛЕВА, Е. М. ТРОЦЕНКО, А. Р. ВАЛИЕВ

Военная академия радиационной, химической и биологической защиты имени Маршала Советского Союза С.К. Тимошенко, 156015, г. Кострома, ул. Горького, 16
varhbz@mil.ru

В статье раскрыты преимущества и подтверждена универсальность метода внутреннего стандарта для количественного газохроматографического анализа токсичных химикатов в различных объектах экологического контроля на примере хлорацетофенона. На основании экспериментальных данных получено среднее значение относительного массового градуировочного коэффициента хлорацетофенона по дифенилу и доказана его достоверность методами математической статистики. Используя рассчитанное значение относительного массового градуировочного коэффициента можно определить концентрацию хлорацетофенона в объектах экологического контроля (воде, почве, воздухе, смывах с поверхностей и других) на газохроматографических комплексах различных производителей и комплектации – с масс-селективными и пламенно-ионизационными детекторами. Авторами показано, что применение метода внутреннего стандарта для количественного газохроматографического определения хлорацетофенона в различных объектах экологического контроля может быть реализовано в химических лабораториях различного профиля и обеспечивает достоверность, оперативность и безопасность проводимых анализов.

Ключевые слова: объекты экологического контроля, хлорацетофенон, газохроматографический анализ, внутренний стандарт.

**A WAY TO IMPROVE THE SAFETY OF PROCEDURES FOR ANALYZING OBJECTS
OF ENVIRONMENTAL CONTROL**

M. V. IVANOVA, I. B. ZHURAVLEVA, E. M. TROCENKO, A. R. VALIEV

Tymoshenko Military Academy of Radiation, Chemical and Biological protection. Russia,
156015, Kostroma, Gorky str., 16
varhbz@mil.ru

The article reveals the advantages and confirms the versatility of the internal standard method for quantitative gas chromatographic analysis of toxic chemicals in various environmental control objects using the example of chloroacetophenone. Based on the experimental data, the average value of the relative mass calibration coefficient of chloroacetophenone with respect to biphenyl was obtained and its reliability was proved by the methods of mathematical statistics. Using the calculated value of the relative mass calibration coefficient, it is possible to determine the concentration of chloroacetophenone in the objects of environmental control (water, soil, air, washes from surfaces, etc.) on gas chromatographic complexes of various manufacturers and configurations - with mass selective and flame ionization detectors. The authors have shown that the use of the internal standard method for the quantitative gas chromatographic determination of chloroacetophenone in various objects of environmental control can be implemented in chemical laboratories of various profiles and ensures the reliability, efficiency and safety of the analyzes.

Key words: objects of environmental control, chloroacetophenone, gas chromatographic analysis, internal standard.

Введение

Все экологические проблемы города являются следствием хозяйственной и иной деятельности людей. К наиболее острым проблемам городской среды относятся: загрязнение атмосферного воздуха, проблема «чистой воды», охрана растительного покрова и почв, управление отходами. Загрязнение окружающей среды создается вредными выбросами, сбросами и физическими воздействиями от всех стационарных и подвижных (передвижных) источников, расположенных на территории города, а также отходами производства и потребления. Кроме того, возможным источником загрязнения являются аварийно химически опасные вещества (АХОВ), отравляющие вещества (ОВ) и токсичные химикаты (ТХ), которые могут поступать в окружающую среду в результате аварий или актов химического терроризма.

Экологический контроль осуществляется за источниками загрязнения, а также за загрязнением и состоянием окружающей среды на территории города. Контроль основан на данных экологического мониторинга. Основными объектами экологического мониторинга являются выбросы и сбросы источников загрязнения (газовоздушные смеси и производственные сточные отходы), атмосферный воздух жилых и рекреационных зон, поверхностные воды, почвы. Отобранные пробы выбросов и сбросов, пробы воздуха, воды и почв систематически исследуются на содержание загрязняющих веществ в аналитических лабораториях по стандартным методикам [1]. Но, в случае применения ТХ в актах химического терроризма, может оказаться, что лаборатории не располагают методиками определения этих веществ.

В Указе Президента Российской Федерации от 11 марта 2019 г. № 97 «Об Основах государственной политики Российской Федерации в области обеспечения химической и биологической безопасности на период до 2025 года и дальнейшую перспективу» к приоритетным направлениям государственной политики в области обеспечения химической безопасности отнесены, в том числе: разработка методик проведения анализа опасных органических веществ, а также разработка процедур проведения химического анализа токсикантов в окружающей среде. Среди основных химических угроз названо распространение и (или) использование химического оружия, совершение террористических актов с применением потенциально опасных химических веществ¹. В результате

диверсионного применения токсичных химикатов различной природы заражению могут быть подвергнуты воздух, почва и вода населенных пунктов. В случае возникновения подобной чрезвычайной ситуации законом «О гражданской обороне» от 12.02.1998 № 28-ФЗ предусмотрено взаимодействие органов управления и сил РСЧС и ГО с органами военного командования².

Таким образом, насущной задачей является разработка методик анализа токсичных химикатов в различных объектах экологического контроля, которые могут быть реализованы в химических лабораториях различных министерств и ведомств.

Особую актуальность приобретают следующие аспекты проведения процедур анализа токсичных химикатов: возможность проведения этих процедур разнопрофильными химическими лабораториями, не имеющими в своем распоряжении стандартных образцов ОВ и ТХ; обеспечение безопасности персонала лабораторий при анализе ОВ, ТХ и АХОВ; специфические требования к квалификации специалистов-аналитиков, необходимые при работе с ОВ, ТХ и АХОВ.

Цель исследования

Подтвердить универсальность и безопасность метода внутреннего стандарта для количественного газохроматографического определения ТХ в различных объектах экологического контроля на примере хлорацетофенона (ХАФ).

Материалы и методы исследования

Хлорацетофенон – одно из наиболее распространенных физиологически активных веществ временно выводящего действия. ХАФ получил применение сначала как отравляющее, а затем как полицейское вещество и вещество, используемое в целях самообороны. Кроме того, в связи с рядом особенностей, таких как термическая устойчивость, высокая летучесть, доступность приобретения, простота синтеза в кустарных условиях, не исключается возможность его

Российской Федерации в области обеспечения химической и биологической безопасности на период до 2025 года и дальнейшую перспективу» [Электронный ресурс]. – Электрон. версия печ. публ. – Доступ с сайта справ.-правовой системы «КонсультантПлюс». – URL: <http://www.consultant.ru>.

² Федеральный закон «О гражданской обороне» от 12.02.1998 N 28-ФЗ (последняя редакция). 12 февраля 1998 года №; 28-ФЗ. – <https://helpiks.org/9-65194.html>.

¹ Указ Президента РФ от 11 марта 2019 г. № 97 «Об Основах государственной политики

применения в актах химического терроризма [2]. То есть, исследование и разработка методик анализа ХАФ в объектах экологического контроля является актуальной.

Разработан и аттестован ряд методик измерений содержания ХАФ в различных объектах газохроматографическим методом, позволяющих производить измерения массовой концентрации ХАФ в экстракте/растворе по методу абсолютной градуировки на хроматографе с детектором электронного захвата. Указанные методики имеют одно существенное ограничение – необходимость предварительной градуировки хроматографа, что требует наличия стандартного образца или химически чистого ХАФ. Кроме того, детекторами электронного захвата комплектуется относительно небольшое количество газовых хроматографов.

Кроме абсолютной градуировки для количественного газохроматографического анализа применяется метод внутреннего стандарта (ВС), преимуществом которого являются отсутствие необходимости в воспроизводимом по величине вводе пробы и малая зависимость результатов измерений от нестабильности работы хроматографа и детектора, так как эти факторы в равной мере влияют на определяемое и стандартное соединение. Еще одним достоинством данного метода является возможность проведения количественного анализа без предварительной градуировки прибора с использованием стандартного образца анализируемого вещества [3]. Это особенно важно при количественном анализе ряда соединений: наркотических и психотропных веществ, физиологически активных, токсичных и отравляющих веществ, для которых метод абсолютной градуировки с использованием химически чистых веществ имеет вполне очевидные ограничения.

Таким образом, применение метода внутреннего стандарта для количественного определения ХАФ значительно повышает безопасность работ и расширяет перечень химических лабораторий, которые могут привлекаться для проведения анализа.

Результаты исследования и их обсуждение

Внутренние стандарты, исследованные в ходе работы, являются достаточно распространёнными веществами, которые применяются как в военных, так и в гражданских лабораториях. Отбор веществ – внутренних стандартов производился по известным критериям [3]. Авторами был рассмотрен ряд достаточно распространенных в лабораторной практике веществ: гексахлорбензол, хлордифенил,

дифенил, октафторнафталин, крезолы, диметилфенол, хлорфенол, н-декан, метиловый эфир стеариновой кислоты (метилстеарат), 3-нитротолуол, 2,4,6-тринитротолуол. Подробно обоснование и выбор веществ – внутренних стандартов для количественного определения хлорацетофенона приведены авторами в работе [4]. В данной статье анализируются результаты исследования только одного из этих веществ – дифенила.

Для оперативного получения аналитической информации с целью идентификации токсичных химикатов, в том числе ХАФ, и их количественной оценки при возникновении чрезвычайных ситуаций, связанных с применением данных веществ в террористических целях, мы предлагаем использовать потенциал стационарных лабораторий различного профиля, имеющих в своем распоряжении газовые хроматографы утвержденного типа, прошедшие обязательную поверку. В таблице 1 приведены данные о количестве поверенных газохроматографических комплексов за последние шесть лет³.

Из таблицы 1 видно, что по официальным данным Росстандарта действующих газохроматографических комплексов насчитывается в разные годы от нескольких сотен до почти тысячи единиц.

Среди газохроматографических комплексов, внесенных в реестр Росстандарта, одними из самых распространенных являются газовые хроматографы «Agilent Technologies» (США) с пламенно-ионизационным (ПИД) и масс-селективным детекторами (МСД); «Кристалл-5000.2» (СКБ «Хроматэк», Российская Федерация) с пламенно-ионизационным (ПИД) и масс-селективным детекторами (ICQ, «ThermoFinnigan», США).

В ходе дальнейшей работы были произведены градуировки этих газовых хроматографов. С использованием стандартной программы сбора и обработки хроматографической информации ChemStation измеряли на хроматограмме площади пиков ХАФ и ВС.

Измерения выполнялись при одинаковых режимных параметрах хроматографов:

- температура термостата колонок 40°C, изотерма 1 минута;
- скорость нагрева – 15 °C/мин до 260°C;
- температура испарителя 230°C;
- коэффициент деления потока 20:1;

³ РОССТАНДАРТ. Федеральный информационный фонд по обеспечению единства измерений [Электронный ресурс]. URL: <http://fundmetrology.ru>.

- скорость потока газа-носителя
1,0 см³/мин;
- капиллярная колонка HP-5MS (30 м,
D – 0,25 мм, F – 0,25 мк) – на приборах «Agilent

Technologies» (США)
- колонка кварцевая капиллярная
Thermo-5MS (30 м, D – 0,25 мм, F – 0,25 мк);
- объем пробы 1 мм³.

Таблица 1. Информация о поверенных газохроматографических комплексах

Организация-поверитель (территориальная принадлежность)	Количество					
	2016	2017	2018	2019	2020	2021
ЗОО научно-инженерный центр «ИНКОМСИСТЕМ»	1	-	-	-	-	-
Клинский филиал ФБУ «ЦСМ Московской области»	18	-	3	-	-	-
ООО «Газпром трансгаз Саратов»	1	-	-	-	-	-
ООО «Газпром трансгаз Томск»	21	1	-	-	-	-
ООО Сайтегра	73	91	11	-	1	-
Орехово-Зуевский филиал «ФБУ «ЦСМ Московской области»	7	-	-	-	-	-
ФБУ «Архангельский ЦСМ»	39	-	2	12	-	-
ФБУ «Астраханский ЦСМ»	12	3	1	-	-	-
ФБУ «Белгородский ЦСМ»	5	-	-	-	-	-
ФБУ «Брянский ЦСМ»	4	3	-	-	-	-
ФБУ «Владимирский ЦСМ»	2	-	-	-	-	-
ФБУ «Иркутский ЦСМ»	4	8	1	-	-	-
ФБУ «Карачаево-Черкесский ЦСМ»	1	-	-	-	-	-
ФБУ «Карельский ЦСМ»	14	-	-	-	-	-
ФБУ «Кемеровский ЦСМ»	3	-	-	1	-	-
ФБУ «Кировский ЦСМ»	2	-	8	-	-	1
ФБУ «Коми ЦСМ»	-	-	-	20	38	3
ФБУ «Краснодарский ЦСМ»	1	2	2	-	-	-
ФБУ «Красноярский ЦСМ»	-	-	-	-	1	-
ФБУ «Курский ЦСМ»	4	-	-	-	-	-
ФБУ «Находкинский ЦСМ»	9	-	-	-	-	-
ФБУ «Нижегородский ЦСМ»	2	7	-	5	4	-
ФБУ «Пермский ЦСМ»	20	2	9	-	-	-
ФБУ «Приморский ЦСМ»	40	37	13	1	-	-
ФБУ «Росттест-Москва»	405	236	40	39	58	85
ФБУ «Сахалинский ЦСМ»	2	-	-	-	-	-
ФБУ «Ставропольский ЦСМ»	10	21	2	-	-	-
ФБУ «Томский ЦСМ»	7	-	1	-	-	-
ФБУ «Тюменский ЦСМ»	-	-	-	17	-	317
ФБУ «Тверской ЦСМ»	13	-	-	-	-	-
ФБУ «Удмуртский ЦСМ»	2	-	-	-	-	-
ФБУ «Хабаровский ЦСМ»	18	-	4	5	3	-
ФБУ «Челябинский ЦСМ»	34	4	5	-	6	4
ФГУП «ВНИИМ им. Д.И Менделеева»	20	-	-	34	8	1
ВНИИМС	118	79	139	-	-	-
ВНИИОФИ	28	20	40	83	21	-
Всего по данным Росстандарта	940	514	281	217	140	411

На основании значений площадей пиков ХАФ и ВС рассчитывали относительные массовые градуировочные коэффициенты для каждой концентрации ХАФ и ВС по формуле:

$$f_{\text{ХАФ}} = \frac{C_{\text{ХАФ}} \cdot S_{\text{ВС}}}{C_{\text{ВС}} \cdot S_{\text{ХАФ}}}, \quad (1)$$

где $C_{\text{ХАФ}}$, $C_{\text{ВС}}$ – массовые концентрации ХАФ и ВС, мкг/см³;

$S_{\text{ХАФ}}$, $S_{\text{ВС}}$ – соответствующие им площади пиков ХАФ и ВС, отн. ед.

Результаты расчетов относительных массовых градуировочных коэффициентов при концентрациях дифенила 1 мг/см³ и 0,05 мг/см³ приведены в табл. 2 [4].

Таблица 2. Значения относительных массовых градуировочных коэффициентов дифенила, полученные на газохроматографических комплексах различной комплектации

Вариант комплектации оборудования	Значения относительного массового градуировочного коэффициента f , безразм.															среднее значение
	для каждого измерения															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
«Agilent Technologies» с МСД	1,76	1,77	1,76	1,90	1,87	1,89	1,67	1,75	1,70	1,84	2,11	1,97	1,74	1,91	1,81	1,83
«Agilent Technologies» с ПИД	1,76	1,76	1,76	1,69	1,66	1,69	1,72	1,72	1,72	1,89	1,89	1,89	-	-	-	1,76
«Кристалл-5000.2» с МСД ICQ	1,67	1,75	1,70	1,71	1,83	1,77	1,67	2,02	1,83	-	-	-	-	-	-	1,77
«Кристалл-5000.2» с ПИД	1,93	1,83	1,93	1,81	1,82	1,88	1,98	1,95	1,84	-	-	-	-	-	-	1,89

В результате проведённых исследований были определены массовые градуировочные коэффициенты для газовых хроматографов с двумя типами детекторов – ПИД и МСД. Установлено, что средние значения коэффициентов отличаются друг от друга не более, чем на 7 %, что уже свидетельствует об универсальности метода внутреннего стандарта.

Далее провели статистическую обработку полученных результатов. Для оценки значимости расхождений средних значений относительных массовых градуировочных коэффициентов сравнили попарно средние значения коэффициентов, полученных:

- на газохроматографических комплексах одного производителя, но с различными

типами детекторов – МСД и ПИД;

- на газохроматографических комплексах разных производителей - «Agilent Technologies» и «Кристалл-5000.2», но с одним типом детекторов.

На первом этапе проверили однородность дисперсий с помощью критерия Фишера – F-теста (уровень значимости 0,05). В результате установили, что сравниваемые попарно дисперсии различаются незначимо, то есть являются однородными. Поэтому далее по полученным средним значениям относительного массового градуировочного коэффициента провели модифицированный тест Стьюдента – рассчитали t -критерий Стьюдента и сравнили его с табличными значениями [5]. Результаты расчетов приведены в табл. 3.

Таблица 3. Результаты модифицированного теста Стьюдента

Тип газохроматографического комплекса	Средние значения коэффициента f , безразм	Значение критерия Фишера F		Подтверждение однородности дисперсии	Значение t -критерия Стьюдента		Проверка значимости расхождений средних значений коэффициента f
		экспериментальное	табличное		экспериментальное $t_{\text{экс}}$	табличное $t_{\text{таб}}$	
«Agilent Technologies» с МСД	1,83	0,28	2,91	0,28 << 2,91	0,10	2,06	0,10 << 2,06
«Agilent Technologies» с ПИД	1,76						
«Кристалл-5000.2» с МСД ICQ	1,77	0,13	3,44	0,13 << 3,44	0,08	2,12	0,08 << 2,12
«Кристалл-5000.2» с ПИД	1,89						
«Agilent Technologies» с МСД	1,83	0,96	3,28	0,96 << 3,28	0,19	2,07	0,19 << 2,07
«Кристалл-5000.2» с МСД ICQ	1,77						

Тип газохроматографического комплекса	Средние значения коэффициента f , безразм	Значение критерия Фишера F		Подтверждение однородности дисперсии	Значение t -критерия Стьюдента		Проверка значимости расхождений средних значений коэффициента f
		экспериментальное	табличное		экспериментальное $t_{\text{экс}}$	табличное $t_{\text{таб}}$	
«Agilent Technologies» с ПИД	1,76	0,46	2,85	0,46 << 2,85	0,18	2,09	0,18 << 2,09
«Кристалл-5000.2» с ПИД	1,89						

Из результатов, представленных в табл. 3, видно, что для всех попарно сравниваемых дисперсий выполняется условие $t_{\text{экс}} \ll t_{\text{таб}}$. Следовательно, расхождение между средними значениями относительных массовых градуировочных коэффициентов незначимо.

Так как разные промежуточные значения коэффициента f встречаются с различной частотой, то было определено среднее ариф-

метическое взвешенное значение относительного массового градуировочного коэффициента. Оно составило $f_{\text{ср}} = 1,81$ (безразм.).

Для оценки достоверности среднего арифметического взвешенного значения относительного массового градуировочного коэффициента был проведен анализ по правилу «трех сигм». Результаты анализа приведены в табл. 4.

Таблица 4. Результаты проверки достоверности среднего арифметического взвешенного значения относительного массового градуировочного коэффициента f по правилу «трех сигм»

Число n сигм ($\sigma = 0,105$)	$f_{\text{ср}} - n\sigma$	Среднее арифметическое взвешенное значение относительного массового градуировочного коэффициента $f_{\text{ср}}$, безразм.	$f_{\text{ср}} + n\sigma$
3σ	1,50	1,81	2,13
2σ	1,60		2,02
1σ	1,71		1,92
Крайние значения f в вариационном ряду	$f_{\text{min}} = 1,66$		$f_{\text{max}} = 2,11$
Проверка достоверности $f_{\text{ср}}$	1,66 > 1,50, то есть $f_{\text{min}} > f_{\text{ср}} - 3\sigma$		2,11 < 2,13, то есть $f_{\text{max}} > f_{\text{ср}} + 3\sigma$

Следовательно, рассчитанный на основании полученных экспериментальных данных вариационный ряд значений коэффициента f укладывается в пределы трех сигм. То есть степень варибельности значений коэффициента f составляет 99,7 %, результаты исследования достоверны и определенное среднее значение коэффициента $f_{\text{ср}} = 1,81$ является типичным для данного вариационного ряда.

Выводы

Подтверждена универсальность метода внутреннего стандарта для количественного газохроматографического определения ТХ в различных объектах экологического контроля на примере хлорацетофенона (ХАФ). Доказана достоверность полученного среднего значения относительного массового градуировочного коэффициента. Используя рассчитанное

значение коэффициента ХАФ по дифенилу можно определить концентрацию ХАФ в объектах экологического контроля (воде, почве, воздухе, смывах с поверхности и т.п.) на газохроматографических комплексах различных производителей и комплектации.

Применение метода внутреннего стандарта и использование дифенила в качестве ВС для количественного газохроматографического определения ХАФ в различных объектах экологического контроля может быть реализовано в химических лабораториях различного профиля. Это позволяет повысить оперативность и безопасность проводимых анализов, поскольку не требует наличия стандартного образца ХАФ и предварительной градуировки хроматографа.

Разработка методик анализа токсичных химикатов в различных объектах

экологического контроля методом внутреннего стандарта представляется перспективным направлением, позволяющим выполнить задачи, определенные в Указе Президента Российской Федерации от 11 марта 2019 г. №

97 «Об Основах государственной политики Российской Федерации в области обеспечения химической и биологической безопасности на период до 2025 года и дальнейшую перспективу».

Список литературы

1. Хомич В. А. Экология городской среды: Учеб. Пособие для ВУЗов. Омск: Изд-во СибАДИ, 2002. 267 с.

2. Антипов В. Б., Новичков С. В. К вопросу о разработке и применении нелетальных средств поражения на химической основе // Ежемесячный журнал Военная мысль. М.: Военная мысль. № 9, 2009. С. 54–61.

3. Боева С. Е., Дрига В. Г., Кочетков А. Н. Химия. Современные аналитические методы идентификации отравляющих и аварийно химически опасных веществ. Воронеж: ВАИУ, 2010. 110 с.

4. Журавлева И. Б., Иванова М. В., Валиев А. Р. Количественный газохроматографический анализ хлорацетофенона методом внутреннего стандарта // Сборник статей 35 научной военно-исторической конференции «Обеспечение безопасности войск и населения Российской Федерации». М.: 27 НЦ МО РФ, 2020. С. 23–31.

5. Гармаш А. В., Сорокина Н. М. Метрологические основы аналитической химии: Изд. 4-е, испр. и доп. // Под ред. проф. Т. Н. Шеховцовой. М.: МГУ им. М. В. Ломоносова, 2017. 52 с.

References

1. Khomich V. A. Ekologiya gorodskoy sredy [Ecology of the urban environment: Manual

for universities]. Omsk: Publishing house SibADI, 2002. 267 p.

2. Antipov V. B., Beginners S. V. K voprosu o razrabotke i primenenii neletal'nykh sredstv porazheniya na khimicheskoy osnove [On the development and use of non-lethal weapons of destruction on a chemical basis]. Monthly magazine Military thought. M.: Military thought. No. 9, 2009. pp. 54–61.

3. Boeva S.E., Driga V. G., Kochetkov A. N. Khimiya. Sovremennyye analiticheskiye metody identifikatsii otravlyayushchikh i avariyno khimicheskii opasnykh veshchestv [Chemistry. Modern analytical methods for the identification of toxic and emergency chemical hazardous substances] Voronezh: VAIU, 2010. 110 p.

4. Zhuravleva I. B., Ivanova M. V., Valiev A. R. Kolichestvennyy gazokhromatograficheskiy analiz khloratsetofenona metodom vnutrennego standarta [Quantitative gas chromatographic analysis of chloroacetophenone by the internal standard method]. Collection of articles of the 35th scientific military-historical conference "Ensuring the security of the troops and population of the Russian Federation." M.: 27 Scientific Center of the Ministry of Defense of the Russian Federation, 2020. pp. 23–31.

5. Garmash A. V., Sorokin N. M. Metrologicheskiye osnovy analiticheskoy khimii [Metrological foundations of analytical chemistry] Ed. 4th, rev. and add. Ed. prof. T. N. Shekhovtsova. M.: Moscow State University. M. V. Lomonosov, 2017. 52 p.

Иванова Марина Владимировна

Военная академия радиационной, химической и биологической защиты имени Маршала Советского Союза С. К. Тимошенко, Российская Федерация, г. Кострома
кандидат химических наук, старший научный сотрудник
E-mail: varhbz@mil.ru

Ivanova Marina Vladimirovna

Military Academy of Radiation, Chemical and Biological Protection named after Marshal of the Soviet Union S.K. Timoshenko, Russian Federation, Kostroma
candidate of chemical sciences, senior researcher
E-mail: varhbz@mil.ru

Журавлева Ирина Борисовна

Военная академия радиационной, химической и биологической защиты имени Маршала Советского Союза С. К. Тимошенко, Российская Федерация, г. Кострома
преподаватель
E-mail: varhbz@mil.ru

Zhuravleva Irina Borisovna

Military Academy of Radiation, Chemical and Biological Protection named after Marshal of the Soviet Union
S. K. Timoshenko, Russian Federation, Kostroma
lecture
E-mail: varhbz@mil.ru

Троценко Елена Михайловна

Военная академия радиационной, химической и биологической защиты имени Маршала Советского
Союза С. К. Тимошенко, Российская Федерация, г. Кострома
кандидат технических наук, научный сотрудник
E-mail: varhbz@mil.ru

Trocenko Elena Mikhailovna

Military Academy of Radiation, Chemical and Biological Protection named after Marshal of the Soviet Union
S. K. Timoshenko, Russian Federation, Kostroma
Candidate of technical sciences, researcher
E-mail: varhbz@mil.ru

Валиев Алексей Рафикович

Военная академия радиационной, химической и биологической защиты имени Маршала Советского
Союза С. К. Тимошенко, Российская Федерация, г. Кострома
кандидат технических наук, начальник лаборатории
E-mail: varhbz@mil.ru

Valiev Aleksey Rafikovich

Military Academy of Radiation, Chemical and Biological Protection named after Marshal of the Soviet Union
S. K. Timoshenko, Russian Federation, Kostroma
Candidate of technical sciences, chef of laboratory
E-mail: varhbz@mil.ru

УДК 621.318

ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОЧИХ ХАРАКТЕРИСТИК МАГНИТОЖИДКОСТНОГО УПЛОТНЕНИЯ

А. В. ТОПОРОВ, Д. Ю. ПАЛИН

Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,

Российская Федерация, г. Иваново

E-mail: ironaxe@mail.ru, den_palin94_94@bk.ru

Создание новых типов уплотнений для герметизации вращающихся валов и разъёмных соединений машин и механизмов различного назначения является одним из направлений повышения надежности и долговечности их работы. Нарушение герметичности уплотнений приводит к сбоям в работе оборудования и, в конечном итоге, к аварийной ситуации. Вопросы экологической безопасности химических и биологических производств зависят от работы уплотнительных узлов при полном отсутствии утечек.

В настоящее время существует множество уплотнительных устройств отличающихся по конструкции, принципу действия и габаритам. Каждому типу уплотнений, как правило, присущи определенные достоинства и недостатки. Добиться наилучшего результата позволяет создание магнитоэлектрических уплотнений, объединяющих в себе конструктивные черты уплотнительных устройств различных типов. Наиболее перспективным является разработка магнитоэлектрических уплотнений, в которых магнитная жидкость может выступать не только как герметизирующая среда, но и в качестве смазки. Снижение габаритов магнитной системы уплотнений может быть достигнуто за счет использования в качестве источника магнитного поля не твердотельных магнитов, а полимерных материалов с магнитным наполнителем. Такие материалы дешевле, обладают высокой технологичностью изготовления и позволяют получить автономную магнитную систему с любыми массогабаритными параметрами.

В работе приведены результаты исследований рабочих характеристик магнитоэлектрического уплотнения, в котором магнитная система формируется за счет шайб, изготовленных из магнитного эластомерного материала.

Ключевые слова: магнитная жидкость; магнитоэлектрическое уплотнение; магнитная система; рабочие характеристики; магнитный эластомерный материал, расчет.

INVESTIGATION OF THE PERFORMANCE CHARACTERISTICS OF A MAGNETOFLUIDIC SEAL

A. V. TOPOROV, D. U. PALIN

Federal State Budget Educational Establishment of Higher Education

«Ivanovo Fire Rescue Academy of State Firefighting Service of Ministry of Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters»,

Russian Federation, Ivanovo

E-mail: ironaxe@mail.ru, den_palin94_94@bk.ru

The creation of new types of seals for sealing rotating shafts and detachable joints of machines and mechanisms for various purposes is one of the ways to increase the reliability and durability of their operation. Failure to seal the seals leads to equipment failures and, ultimately, to an emergency. Issues of environmental safety of chemical and biological industries depend on the operation of sealing units in the complete absence of leaks.

Currently, there are many sealing devices that differ in design, principle of operation and dimensions. Each type of seal, as a rule, has certain advantages and disadvantages. To achieve the best result, it is possible to create magnetofluidic seals that combine the design features of sealing devices of various types. The most promising is the development of magnetofluidic seals, in which the magnetic fluid can act not only as a sealing medium, but also as a lubricant. Reducing the size of the magnetic sealing system can be achieved by using polymer materials with a magnetic filler as a source of the magnetic field, rather than solid-state

magnets. Such materials are cheaper, have a high technological efficiency and allow you to get an autonomous magnetic system with any weight and size parameters.

The paper presents the results of studies of the performance characteristics of a magnetofluidic seal, in which the magnetic system is formed by washers made of a magnetic elastomeric material.

Key words: magnetic fluid; magnetofluidic seal; magnetic system; performance characteristics; magnetic elastomeric material, calculation.

Уплотнительные устройства широко применяются для герметизации вращающихся валов, вводов возвратно-поступательного движения и статических зазоров. От надёжной работы уплотнения зависит работоспособность всего агрегата в целом, а наличие утечек уплотняемой среды из рабочих объемов приводит не только к поломке оборудования, но может нанести значительный вред окружающей среде.

Применяемые в настоящее время уплотнительные устройства можно условно разделить на традиционные и магнитожидкостные. К традиционным уплотнениям обычно относят как контактные уплотнения, такие как: манжетные, торцевые, сальниковые, мембранные, так и бесконтактные уплотнения. К ним относятся лабиринтные и щелевые уплотнения различной конструкции. Перечисленные выше типы уплотнений эксплуатируются на оборудовании не один десяток лет, но имеют ряд недостатков. К ним относятся: отсутствие полной герметичности (лабиринтные уплотнения), высокие потери на трение (практически все контактные уплотнения), значительные габариты (торцевые уплотнения), необходимость периодического обслуживания (сальниковые уплотнения) [1].

Для магнитожидкостных уплотнений, которые обладают рядом достоинств, таких как, абсолютная герметичность, относительно низкий момент трения, присущ и ряд серьезных недостатков, к которым относятся значительные габариты и высокие технологические требования, связанные с повышенной точностью изготовления деталей [2].

В настоящее время существует множество конструкций уплотнений с магнитной жидкостью. Для их работы необходимо наличие специальной магнитной системы удерживающей магнитную жидкость в рабочем зазоре и обеспечивающей компенсацию перепада давлений. Магнитная система обычно состоит из постоянного магнита, выступающим в качестве источника магнитного поля и полюсных приставок, образующих замкнутую магнитную цепь. Для создания градиента магнитной индукции на полюсных приставках, обращённых к валу, выполняются концентраторы магнитного поля, [2]. Такая конструкция эффективна при малых значениях рабочего зазора, величина

которого находится в пределах 0,1 – 0,25 мм. Для обеспечения такой величины рабочего зазора необходимо использовать дополнительные опоры вала, помещённые в один корпус с уплотнением. Такие опорно-уплотнительные узлы получили наиболее широкое распространение, но отличаются значительными габаритами относительно диаметра уплотняемого вала [2].

Возможными направлениями снижения габаритов уплотнения является отказ от дополнительных подшипников и внесение изменений в магнитную систему. Добиться этого возможно за счет обеспечения плотного контакта магнитопровода с валом, и объединения функций источника магнитного поля и магнитопровода в одной детали.

Следуя этой логике для упрощения конструкции уплотнения и уменьшения его габаритов предлагается в качестве источника магнитного поля использовать магнитный эластомерный материал [1]. Магнитный эластомерный материал представляет собой полимерную основу с магнитным наполнителем. В качестве полимерной основы могут выступать винил, резина, полиэтилен, а в качестве магнитного наполнителя порошки ферритовых или редкоземельных магнитных материалов [3]. Магнитные эластомерные материалы проигрывают твердотельным магнитам по величине магнитной энергии, зато в отличие от них обладают высокой технологичностью при механической обработке и могут работать в непосредственном контакте с подвижными деталями. Применение магнитоэластомерного материала позволяет отказаться от громоздкой магнитной системы, а в области его плотного соприкосновения с валом будет сформировано контактное уплотнение, по принципу работы похожее на манжетное. Магнитная жидкость, помещённая в рабочую область, будет также выполнять роль смазочного материала [4].

Вариант конструкции уплотнения представлен на рисунке 1 и состоит из корпуса 1, изготовленного из полимерного материала, в который устанавливаются магнитные эластомерные шайбы 2 намагниченные в осевом направлении и ориентированные одноименными полюсами друг к другу. Между магнитными эластомерными шайбами 2 помещаются

шайбы из немагнитного материала 3. Толщина шайб из немагнитного материала составляет не менее 50 % толщины магнитных эластомерных шайб. Количество шайб может изменяться в зависимости от назначения уплотнения. Шайбы фиксируются в корпусе при помощи крышки 4. Уплотнение устанавливается на вал. Магнитная жидкость 6 помещается в область между магнитными эластомерными

шайбами 2 и валом и удерживается в этой области магнитными силами [5]. Такое направление намагничивания и наличие немагнитных проставок является обязательным условием для достижения наиболее эффективной работы уплотнения, поскольку позволяет добиться наибольшего количества зон градиента магнитного поля и обеспечить наилучшие рабочие характеристики [7].

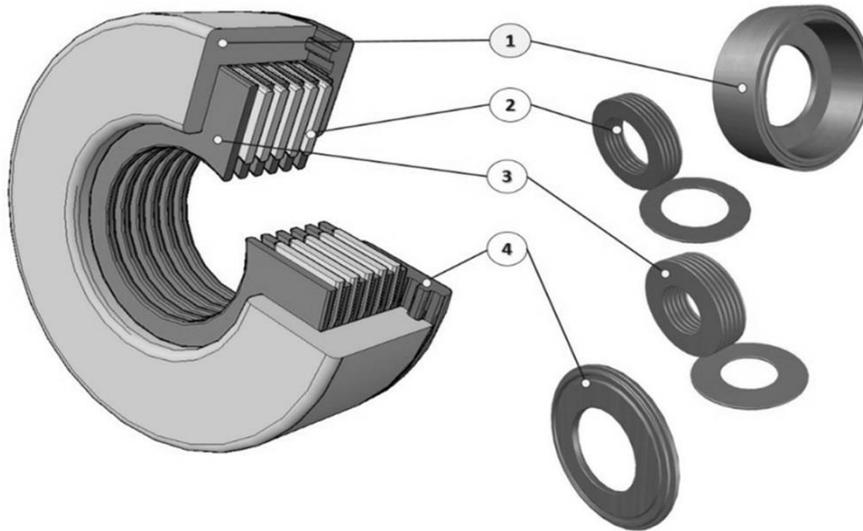


Рис. 1. Трехмерные модели деталей уплотнения:

1 – корпус, 2 – магнитные эластомерные шайбы, 3 - шайбы из немагнитного материала, 4 – крышка

При работе контактных уплотнений возникают биения вала, которые приводят к отрыву рабочей кромки от вала и образованию зазора. Это может привести к разгерметизации уплотняемого объема [1, 4]. В нормальном режиме зазор между магнитными эластомерными шайбами и валом отсутствует и уплотнение работает как контактное, так и как магнитоэластомерное. Оценить последствия появления микрощели возможно определив влияние ее величины на магнитную индукцию в рабочем зазоре. Измерения магнитной индукции в рабочих зазорах при помощи тесламетра не представляется возможным в связи с их относительно малыми величинами. Поэтому, наиболее простым и показательным способом определения магнитных характеристик является их численное моделирование. Расчет магнитной индукции для величин рабочего зазора 0, 0,1, 0,2 и 0,3 мм проводился с использованием метода конечных элементов в системе FEMM4.2.

На рисунке 2 представлена зависимость распределения магнитной индукции в рабочей зоне уплотнения от величины рабочего зазора. Из полученных графиков следует, что с увеличением рабочего зазора наблюда-

ется значительное снижение максимальных величин магнитной индукции. Для всех рассмотренных случаев наблюдается образование градиентных зон, однако, если для случая контакта магнитных эластомерных шайб с валом величина перепада магнитной индукции составляет порядка 0,25 Тл, то с увеличением рабочего зазора до 0,3мм максимальный перепад индукции сокращается до 0,08 Тл. Такое падение градиента является негативным, поскольку именно этим параметром обуславливается величина рабочего (или критического) перепада давлений магнитоэластомерного уплотнения [3]. Величина критического перепада давлений снижается при уменьшении количества градиентных зон в рабочем зазоре. Из рисунка 2 следует, что при отсутствии зазора между магнитной эластомерной шайбой и валом зоны, градиентные области формируются на каждой боковой кромке, т.е. каждая шайба формирует две области с перепадом магнитной индукции. С возникновением и дальнейшим увеличением рабочего зазора магнитные силовые линии замыкаются через него, что вызывает снижение величины неоднородности магнитного поля непосредственно

под магнитной эластомерной шайбой. Это приводит к исчезновению дополнительной градиентной зоны и, как следствие, дополнитель-

ное снижение величины критического (или рабочего) перепада давлений.

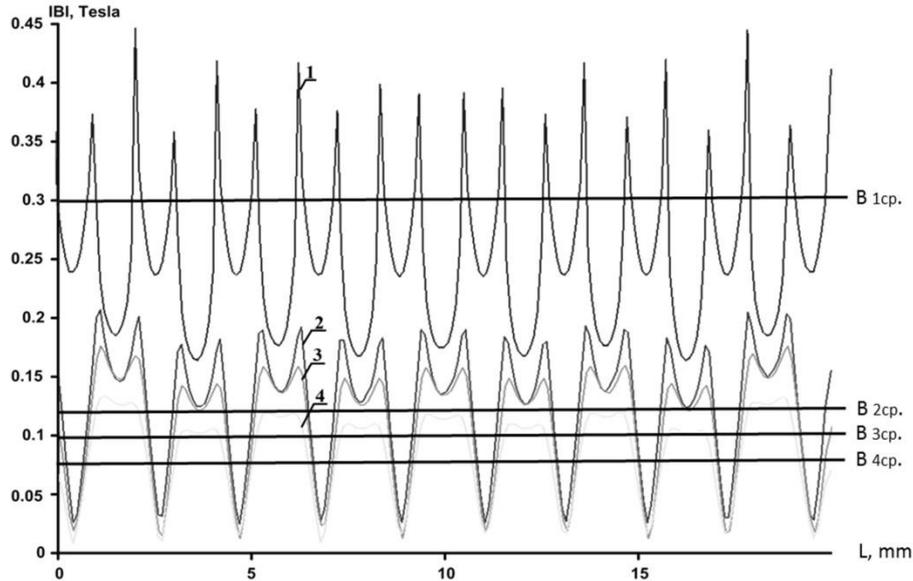


Рис. 2. Зависимость магнитной индукции в рабочей зоне уплотнения от величины рабочего зазора: 1- зазор отсутствует, 2-зазор 0,1 мм, 3-зазор 0,2 мм, 3-зазор 0,3 мм

Чтобы оценить влияние величины рабочего зазора на величину магнитной индукции в нём при использовании магнитного эластомерного материала целесообразно построить зависимость величины средней индукции в рабочем зазоре уплотнения от величины рабо-

чего зазора (рисунок 2). Абсолютная величина средней индукции не является определяющей характеристикой магнитной системы уплотнения [6], однако позволяет оценить насколько эффективно и рационально она работает.

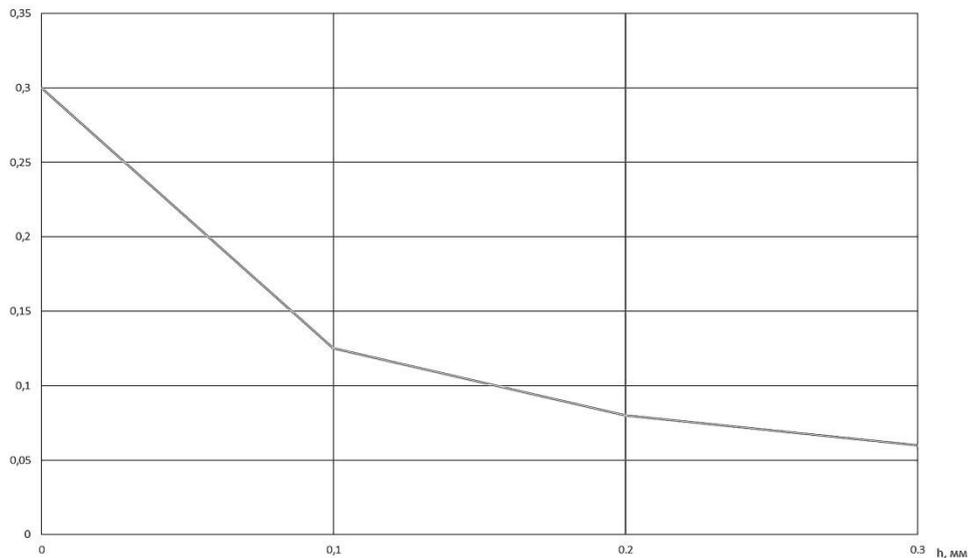


Рис. 3. Зависимость величины средней индукции в рабочем зазоре уплотнения от величины рабочего зазора

Из полученной расчётной зависимости следует, что величина средней индукции снижается с увеличением рабочего зазора. При зазоре порядка 0,08 мм индукция уменьшается в 2 раза. Далее с увеличением зазора снижение индукции происходит не так интенсивно. Появление зазоров между валом и шайбами приводит к падению перепада давлений, удерживаемого магнитожидкостной системой. Таким образом, для нормальной работы уплотнения необходимо создать такие условия, при которых обеспечивается надёжный контакт магнитных эластомерных шайб с валом. Из полученной зависимости следует, что допустимая величина зазоров не должна превышать 0,03 мм.

Избежать появления зазоров между рабочей кромкой контактных уплотнений и валом практически невозможно, поскольку на этот процесс помимо качества изготовления деталей оказывают влияние и условия эксплуатации [1]. Для определения условий возникновения зазоров в рабочей области уплотнения, изготовленного с использованием магнитных эластомерных шайб необходимо получить зависимость удерживаемого перепада давлений от скорости перемещения вала, имеющего определенное значение эксцентриситета. С этой целью использовался специальный испытательный стенд [8].

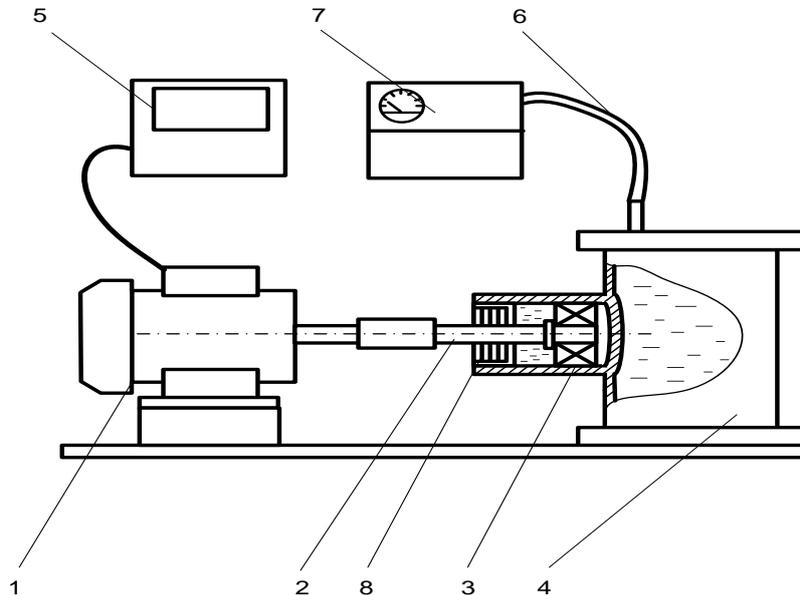


Рис. 4. Схема испытательного стенда: 1 – электродвигатель, 2 – вал, 3 – подшипник, 4 – корпус, 5 – частотный электропривод, 6 – шланг, 7 – компрессор, 8 – уплотнительное устройство

Стенд работает следующим образом. Вращение от электродвигателя 1 передается на вал 2. Вал 2 закрепляется в подшипнике качения 3, который помещен в корпус 4 установки и изготовлен из полимерного материала. Изменение скорости вращения электродвигателя 1 достигается с помощью частотного электропривода 5 и контролируется по показаниям установленного на нем дисплея.

В качестве герметизируемой среды используется индустриальное масло И-5, которое помещается в объём 4. С помощью компрессора 7 через шланг 6 во внутренней объём

корпуса 4 нагнетается воздух, создающий избыточное давление, которое определяется по показаниям манометра компрессора 7. Уплотнительное устройство 8 монтируется на вал 2, диаметром 15 мм, изготовленный из стали 30, заправляется магнитной жидкостью на основе ПЭС 5 с магнитным наполнителем из магнетита, и помещается в корпус 4. Статический зазор между уплотнительным устройством и корпусом 4 герметизируется. Утечки через уплотнение фиксируются по появлению утечек уплотняемой среды на валу 2 с наружной части уплотнения.

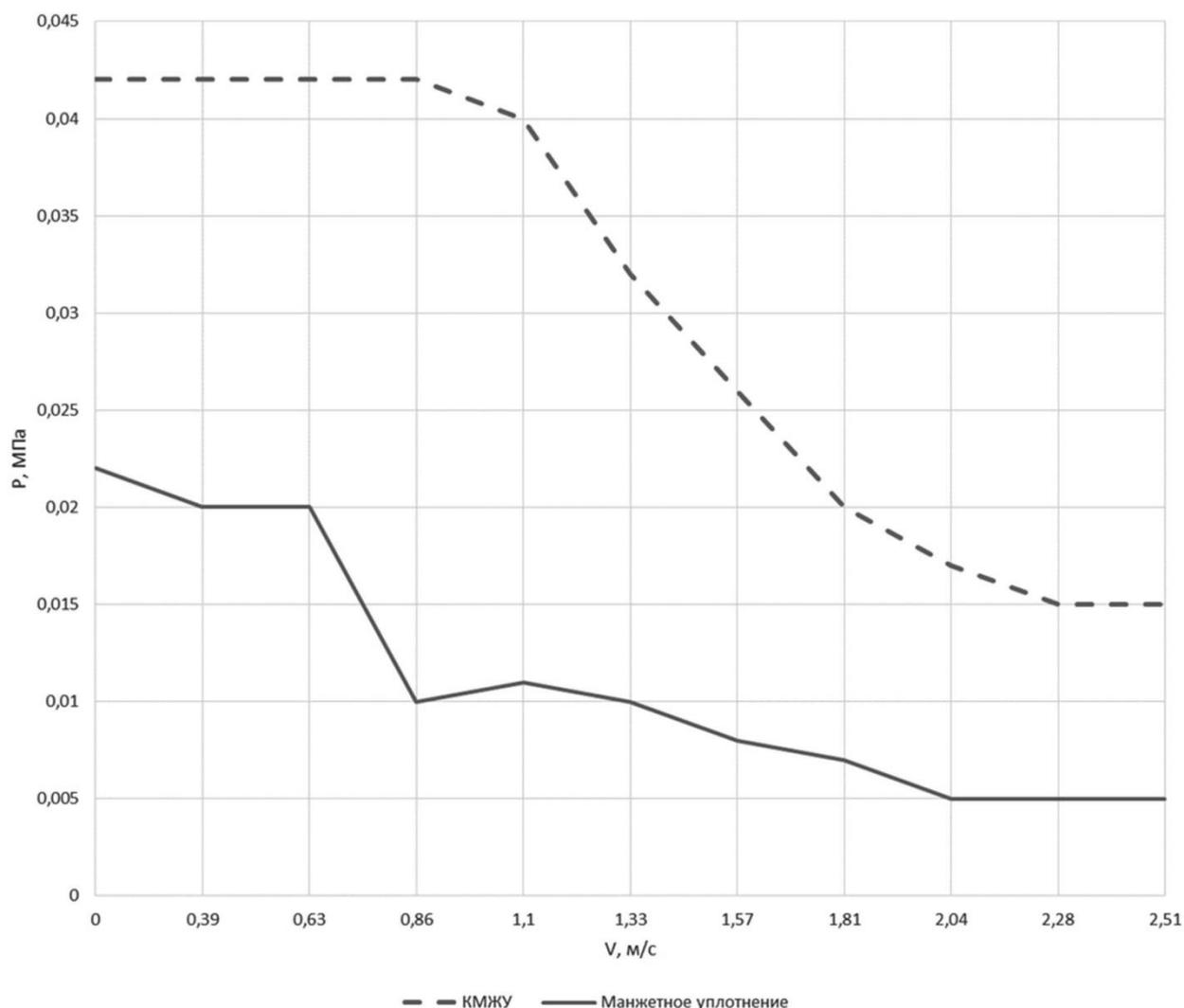


Рис. 5. Зависимость рабочего перепада давлений от скорости скольжения при эксцентриситете

В ходе испытаний использовался вал диаметром 15 мм с эксцентриситетом 0,2 мм. Для качественной оценки результатов эксперимента кроме магнитожидкостного уплотнения использовалось также манжетное уплотнение. На рисунке 5 приведены зависимости рабочего перепада давлений от скорости скольжения. Из полученных графиков следует, что для обоих типов уплотнений имеет место постоянное значение рабочего перепада давлений и его последующее снижение. Для манжетного уплотнения максимальная величина рабочего перепада давлений снижается по сравнению с магнитожидкостным уплотнением на 50 % при меньшей на 40 % скорости скольжения. Начиная с определенной скорости скольжения наблюдается снижение рабочего перепада давлений. Для манжеты падение носит скачкообразный характер. Определить для этого уплотнения величину рабочего перепада

давлений после скорости скольжения более 0,63 м/с достаточно сложно. Для магнитожидкостного уплотнения имеет место плавное снижение рабочего перепада давлений. Однако, необходимо обратить внимание на характер полученной зависимости и сравнить ее с графиком, представленном на рисунке 3. Как видим, графики имеют сходную форму, что свидетельствует об увеличении рабочего зазора (рисунок 3), и как следствие, пропорциональному снижению величины удерживаемого перепада давлений (рисунок 5). Сравнение в абсолютных показателях здесь может быть не корректно, но форма кривых является вполне показательной и свидетельствует о появлении зазоров между валом рабочими элементами.

Таким образом, при работе магнитожидкостного уплотнения с рабочими элементами, изготовленными из магнитного эластомерного материала, могут возникать зазоры между ва-

лом и кромкой. Появление зазоров оказывает влияние на величину рабочего перепада давлений. Наблюдается снижение рабочего перепада давлений при достижении определенного значения скорости скольжения вал (при уста-

новленной величине эксцентриситета и диаметре вала). Для таких типов уплотнений необходимо стремиться к тому, чтобы возникающие зазоры не превышали 0,03 мм.

Список литературы

1. Кондаков А. А., Голубев А. И., Овандер В. Б. Уплотнения и уплотнительная техника: Справочник. М.: Машиностроение, 1986. 464 с.
2. Сайкин М. С. Магнитоожидкостные герметизаторы технологического оборудования: монография. Санкт-Петербург: Лань, 2017. 136 с.
3. Алексеев А. Г., Корнев А. Е. Магнитные эластомеры. М.: Химия, 1987. 240 с.
4. Топоров А. В. Разработка комбинированных магнитоожидкостных уплотнений и исследование их трибологических характеристик: дис. ... канд. техн. наук: 05.02.04. Иваново, 2000. 24 с.
5. Патент на полезную модель RU 197088 U1. Магнитоожидкостное уплотнение вала / Палин Д. Ю., Топоров А. В., Пучков П. В.; опубл. 30.03.20.
6. Орлов Д. В., Михалёв Ю. О., Мышкин Н. К. Магнитные жидкости в машиностроении. М.: Машиностроение, 1993. 272 с.
7. Топоров А. В., Палин Д. Ю., Колобов М. Ю. Анализ влияния конфигурации магнитной системы на характеристики магнитоожидкостного уплотнения с магнитным эластомерным материалом // Современные наукоемкие технологии. Региональное приложение. 2020. № 2 (62). С. 130–137.
8. Палин Д. Ю., Топоров А. В., Иванов В. Е. Разработка бесконтактного устройства для измерения крутящего момента на валу // Современные наукоемкие технологии. Региональное приложение. 2020. № 2 (62). С. 125–129.

References

1. Kondakov A. A., Golubev A. I., Ovander V. B. *Uplotneniya i uplotnitel'naya tekhnika: Spravochnik* [Seals and Sealing Tech-

nology: a Handbook]. M.: Mashinostroenie, 1986, 464 p.

2. Sajkin M. S. *Magnitozhidkostnye germetizatory tekhnologicheskogo oborudovaniya: monografiya* [Magnetic-liquid hermetic seals of technological equipment: monograph]. Sankt-Peterburg: Lan', 2017, 136 p.

3. Alekseev A.G., Kornev A.E. *Magnitnye elastomery* [Magnetic elastomers]. M.: Himiya, 1987, 240 p.

4. Toporov A. V. *Razrabotka kombinirovannykh magnitozhidkostnykh uplotnenij i issledovanie ih tribologicheskikh harakteristik*. Diss. kand. tekhn. nauk [Development of combined magnetic fluid seals and research of their tribological characteristics. Cand. tech. sci. diss.]. Ivanovo, 2000. 24 p.

5. Palin D. Yu., Toporov A. V., Puchkov P. V. *Magnitozhidkostnoe uplotnenie vala* [Magnetic fluid shaft seal] Patent na poleznuyu model' RU 197088 U1, opubl. 30.03.20

6. Orlov D. V., Mihalyov Yu. O., Myshkin N. K. *Magnitnye zhidkosti v mashinostroyenii* [Magnetic fluids in mechanical engineering]. M.: Mashinostroenie, 1993. 272 p.

7. Toporov A. V., Palin D. Yu., Kolobov M. Yu. *Analiz vliyaniya konfiguratsii magnitnoy sistemy na harakteristiki magnitozhidkostnogo uplotneniya s magnitnym elastomernym materialom* [Analysis of the influence of the configuration of the magnetic system on the characteristics of a magnetic fluid seal with a magnetic elastomeric material]. *Sovremennye naukoemkie tekhnologii. Regional'noe prilozhenie*, 2020, vol. 2 (62), pp. 130–137.

8. Palin D. Yu., Toporov A. V., Ivanov V. E. *Razrabotka beskontaktnogo ustrojstva dlya izmereniya krutyashchego momenta na valu* [Development of a non-contact device for measuring the torque on the shaft] *Sovremennye naukoemkie tekhnologii. Regional'noe prilozhenie*, 2020, vol. 2 (62), pp. 125-129.

Топоров Алексей Валериевич

Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,
Российская Федерация, г. Иваново
кандидат технических наук, доцент
E-mail: ironaxe@mail.ru

Toporov Aleksey Valerievich

Federal State Educational Institution of Higher Education «Ivanovo Fire and Rescue Academy of the State Federal State Budget Educational Establishment of Higher Education «Ivanovo Fire Rescue Academy of State Firefighting Service of Ministry of Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters»,
Russian Federation, Ivanovo
candidate of tech. sciences, assistant professor
E-mail: ironaxe@mail.ru

Палин Денис Юрьевич

Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,
Российская Федерация, г. Иваново
E-mail: den_palin94_94@bk.ru

Palin Denis Urevich

Federal State Budget Educational Establishment of Higher Education «Ivanovo Fire Rescue Academy of State Firefighting Service of Ministry of Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters»,
Russian Federation, Ivanovo
E-mail: den_palin94_94@bk.ru

ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ

К рассмотрению принимаются рукописи в электронном формате документа Microsoft Word (*.doc, *.docx). Файлы высылаются по адресу: journal@edufire37.ru

Статьи должны полностью соответствовать специальности журнала.

Обязательно указание места работы всех авторов, их должностей и контактной информации.

В статье указывается шифр основной специальности, по которой выполнена работа.

При направлении материалов в редакцию по электронной почте в одном письме направляются:

- файл статьи в формате MS Word;
- внешняя рецензия, заверенная в установленном в организации порядке (рецензенты и авторы статей не должны находиться в должностных отношениях);
- сканированная копия сопроводительного письма.

ТРЕБОВАНИЯ К ПОДГОТОВКЕ СТАТЕЙ

Обязательные элементы рукописи:

УДК, аннотация, ключевые слова, текст статьи.

Аннотация должна иметь объем 150–200 слов, а её содержание – отражать структуру статьи.

Минимальный объем ключевых слов – 5. Ключевые слова отделяются друг от друга точкой с запятой.

В структуру статьи должны входить: введение (краткое), цель исследования, материал и методы исследования, результаты исследования и их обсуждение, выводы или заключение, список литературы.

Структура размещения статьи в журнале:

- Блок 1 – на русском языке: УДК; название статьи; автор(ы); адресные данные авторов (полное юридическое название организации, адрес организации, адрес электронной почты всех или одного автора); аннотация; ключевые слова;
- Блок 2 – транслитерация и перевод на английский язык соответствующих данных Блока 1 в той же последовательности: название статьи – на английском языке; авторы – на латинице (транслитерация); название организации, адрес организации, аннотация, ключевые слова – на английском языке;
- Блок 3 – полный текст статьи на языке оригинала (русском), оформленный в соответствии с действующими требованиями Журнала;
- Блок 4 – список литературы на русском языке (название «Список литературы»);
- Блок 5 – список литературы в романском алфавите (название References). Если список литературы состоит только из англоязычных источников, то Блок 5 может отсутствовать.
- Блок 6 – сведения об авторах на русском и английском языках.

Технические требования к оформлению

Рукописи представляются в формате А4. Объем представляемых рукописей (с учетом пробелов):

- статьи – до 20 тысяч знаков;
- обзора – до 60 тысяч знаков;
- краткого сообщения – до 10 тысяч знаков.

Оформление текста статьи:

- для набора используется шрифт Arial, размер шрифта – 10;
- отступ первой строки абзаца 1,25 см;
- все поля 2 см;
- все аббревиатуры и сокращения должны быть расшифрованы при первом использовании;
- недопустимо использование расставленных вручную переносов.

Оформление формул, рисунков и таблиц:

• формулы набираются в редакторе формул Microsoft Equation 3.0 или Math Type 5.0-6.0 Equation (шрифт Arial), размер шрифта – 10. Пояснения к формулам (экспликации) должны быть набраны в подбор (без использования красной строки). Формулы нумеруют в круглых скобках по правому краю страницы;

- в тексте статьи обязательно должны содержаться ссылки на таблицы, рисунки, графики;
- графики, рисунки и фотографии монтируются в тексте после первого упоминания о них.

Количество графического материала должно быть минимальным (не более 5 рисунков). Буквы и цифры на рисунке должны быть разборчивы, оси на графиках подписаны. Рисунки и фотографии следует представлять в черно-белом варианте; они должны иметь хороший контраст и разрешение. Рисунки в виде ксерокопий из книг и журналов, а также плохо отсканированные не принимаются. Рисунки обяза-

тельно должны быть сгруппированы (т.е. не должны «разваливаться» при перемещении и форматировании);

- подрисуночные подписи размещаются по центру;
- названия рисунков даются под ними после слова «Рис.» с порядковым номером. Слово «Рис.» с порядковым номером пишется полужирно, название рисунка – с прописной буквы, обычным шрифтом: **Рис. 1.** Отдельные элементы дымонепроницаемой мембраны в сложенном состоянии;
- если рисунок в тексте один, номер не ставится: **Рисунок.** Статистика пожаров, произошедших на различных объектах;
- подрисуночные подписи не входят в состав рисунка, а располагаются отдельным текстом под иллюстрацией. Если на рисунке вводятся новые (ранее не встречавшиеся в тексте) обозначения, они должны быть расшифрованы в подрисуночной подписи; также здесь поясняются элементы, обозначенные на рисунке цифрами. Рекомендуемая ширина рисунков не более 7,5 см;
- ссылки в тексте на таблицы пишутся: «табл.», «табл. 1»;
- слово «Таблица» с порядковым номером и названием размещается по центру. Слово «Таблица» набирается курсивом, название таблицы выделяется полужирно: **Таблица 1. Экспериментальные данные по допустимым срокам непрерывной продолжительности работы в изолирующих термоагрессивостойких костюмах для пожарных;**
- единственная в статье таблица не нумеруется: **Таблица. Анализ оборудования для подачи воздушно-механической пены;**
- по возможности следует избегать использования рисунков и таблиц, размер которых требует альбомной ориентации страницы;
- поворот рисунков и таблиц в вертикальную ориентацию недопустим;
- текст статьи не должен заканчиваться таблицей, рисунком или формулой.

Правила оформления списка литературы

После текста статьи приводится список литературы, оформленный в строгом соответствии с ГОСТ Р 7.0.5-2008.

Источники указываются в порядке цитирования в тексте. На все источники из списка литературы должны быть ссылки в тексте.

В список литературы включаются только научные и приравненные к ним публикации (статьи, монографии, учебные издания, патенты на изобретения, авторские свидетельства). Ссылки на нормативные документы (законы, постановления, стандарты) должны оформляться как подстрочные сноски.

В статье должны быть представлены два варианта списка использованной литературы:

– список на русском языке. Для изданий на русском языке обязательна транслитерация оригинального названия и перевод названия на английский язык (в квадратных скобках); тире, а также символ // в описании на английском языке не используются;

– список в романском алфавите (References). В References при переводе статьи на английский названия изданий и журналов не переводятся, используется транслитерация.

Для изданий на английском языке транслитерация не производится.

Если есть, обязательно указывается DOI.

Материалы предоставляются по адресу:

Россия, 153040, Ивановская область, г. Иваново, проспект Строителей, д. 33
Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,
Редакция журнала «Современные проблемы гражданской защиты»,
тел.: (4932) 93-08-00 доб. 5-71; e-mail: journal@edufire37.ru

СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ГРАЖДАНСКОЙ ЗАЩИТЫ
№ 2 (39), 2021

Подписано в печать 22.06.2021 г. Формат 60 × 90 1/8.
Бумага офсетная. Печать цифровая.
Усл. печ. л. 16,5. Тираж 100 экз. Заказ №79.

Оригинал-макет подготовлен
Ивановской пожарно-спасательной академией ГПС МЧС России
АДРЕС РЕДАКЦИИ (ИЗДАТЕЛЯ): 153040, г. Иваново, проспект Строителей, д. 33;
тел.: (4932) 93-08-00, доб. 571; e-mail: journal@edufire37.ru

Отпечатано в АО «Информатика»
153032, г. Иваново, ул. Ташкентская, 90