



Основан в 2016 году

Выходит 4 раза в год

Научный журнал
Вестник
Университета гражданской защиты
МЧС Беларуси
(Journal of Civil Protection)
Том 6, № 3, 2022

Редакционная коллегия:

главный редактор:

**Полевода
Иван Иванович**

кандидат технических наук,
доцент

зам. главного редактора:

**Гончаренко
Игорь Андреевич**

доктор физико-математических наук,
профессор

**Платонов
Александр Сергеевич**

кандидат физико-математических
наук, доцент

Редакционный совет:

Лешенюк Николай Степанович, доктор физико-математических наук, профессор – председатель; Богданова Валентина Владимировна, доктор химических наук, профессор – зам. председателя; Акулов Артем Юрьевич, кандидат технических наук (Россия); Байков Валентин Иванович, доктор технических наук, старший научный сотрудник; Барановский Николай Викторович, кандидат физико-математических наук (Россия); Бирюк Виктор Алексеевич, кандидат технических наук, доцент; Волочко Александр Тихонович, доктор технических наук, профессор; Волянин Ежи, доктор технических наук, профессор (Польша); Иваницкий Александр Григорьевич, кандидат технических наук, доцент; Иванов Юрий Сергеевич, кандидат технических наук; Ильюшонок Александр Васильевич, кандидат физико-математических наук, доцент; Каван Степан, доктор технических наук (Чехия); Калач Андрей Владимирович, доктор химических наук, доцент (Россия); Камлюк Андрей Николаевич, кандидат физико-математических наук, доцент; Карпиленя Николай Васильевич, доктор военных наук, профессор; Ковтун Вадим Анатольевич, доктор технических наук, профессор; Кремень Марк Аронович, доктор психологических наук, профессор; Кудряшов Вадим Александрович, кандидат технических наук, доцент; Кузьмицкий Валерий Александрович, доктор физико-математических наук, доцент; Лебедева Наталья Шамильевна, доктор химических наук, доцент (Россия); Лебедин Александр Владимирович, доктор военных наук, профессор; Поздеев Сергей Валерьевич, доктор технических наук, профессор (Украина); Соколов Сергей Викторович, доктор технических наук, профессор (Россия); Тихонов Максим Михайлович, кандидат технических наук, доцент; Тур Виктор Владимирович, доктор технических наук, профессор; Фурманов Игорь Александрович, доктор психологических наук, профессор; Чень Цзяньго, доктор технических наук, профессор (Китай); Шарипханов Сырым Дюсенгазиевич, доктор технических наук (Казахстан).

Учредитель – Государственное учреждение образования
«Университет гражданской защиты
Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь»

Решением коллегии Высшей аттестационной комиссии № 18/8 от 9 декабря 2016 г.
журнал включен в перечень научных изданий Республики Беларусь
для опубликования результатов диссертационных исследований

Журнал зарегистрирован в Министерстве информации Республики Беларусь,
свидетельство о регистрации № 1835 от 19 сентября 2016 г.

Номер подготовлен совместно с учреждениями образования и науки Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий.

Журнал включен в перечень научных изданий Республики Беларусь для опубликования результатов диссертационных исследований по психологическим, техническим (по научным направлениям – безопасность в чрезвычайных ситуациях; пожарная и промышленная безопасность; гражданская оборона) и военным (по научному направлению – гражданская оборона) наукам.

Ответственность за подбор и точность приведенных данных, а также за использование сведений, не подлежащих открытой публикации, несут авторы опубликованных материалов.

Статьи, поступающие для публикации в журнале, рецензируются.

Полная или частичная перепечатка, размножение, воспроизведение или иное использование опубликованных материалов допускаются с обязательной ссылкой на журнал «Вестник Университета гражданской защиты МЧС Беларуси».

Адрес редакции: ул. Машиностроителей, 25, 220118, г. Минск

Контактные телефоны: (017) 340-53-93 (главный редактор)

(017) 341-32-99

Сайт Университета гражданской защиты: www.ucsp.by

Email редакции: vestnik@ucsp.by

ISSN 2519-237X (print)

ISSN 2708-017X (online)

© Государственное учреждение образования
«Университет гражданской защиты
Министерства по чрезвычайным ситуациям
Республики Беларусь», 2022

СОДЕРЖАНИЕ

Пожарная и промышленная безопасность (технические науки)

Назарович А.Н., Рева О.В. Критерии разработки эффективных неорганических замедлителей горения для нетканых тонковолокнистых полиэфирных материалов 263

Приступюк Д.Н., Федоров В.Ю., Данилов Р.А. Исследование утраты огнестойкости эксплуатируемых железобетонных ригелей и балок..... 278

Клочихин И.О., Васильев М.А., Танклевский Л.Т. Перспективы применения оптических измерительных приборов и устройств во время испытаний дымовых оптико-электронных точечных пожарных извещателей 294

Фомин А.В., Егоров А.А., Борисова В.А. Обеспечение пожарной безопасности водородных заправочных станций 305

Безопасность в чрезвычайных ситуациях (технические науки)

Елтышев И.П., Копылов П.С., Первенев Э.Э., Петрилин Д.А., Тетерин И.А., Тимохин В.В., Шангараев Р.Р. Кафедра процессов горения и экологической безопасности Академии Государственной противопожарной службы МЧС России: славное прошлое – перспективное будущее 312

Гражданская оборона

Булва А.Д. Роль и место гражданской обороны в системе обеспечения национальной безопасности Республики Беларусь (в контексте обеспечения военной безопасности) 326

Подготовка специалистов в области предупреждения и ликвидации ЧС

Полевада И.И., Рябцев В.Н., Лихоманов А.О., Навроцкий О.Д., Грачулин А.В., Гапанюк Д.В., Морозов А.А., Климовцов В.М., Винярский Г.В., Шинкоренко К.Е., Гусаров И.С., Бобарика И.В. Экспериментальный макет тренажера с имитацией эффектов физических воздействий в условиях виртуальной реальности для подготовки спасателей-пожарных..... 339

Ермилов А.В., Никишов С.Н., Баканов М.О. Адаптация условий учебной деятельности курсантов в соответствии с особенностями профессиональных функций по тушению пожаров..... 361

Разное (обзоры)

Пасовец В.Н., Ковтун В.А., Горошко Е.Ю., Тагиев Ш.Ш. Особенности методологии расследования поджогов легковых автомобилей..... 372

Полевада И.И., Герасимчик А.П., Богданович А.Б., Каркин Ю.В., Шамаль Д.Ю. К 90-летию инженера-полковника в отставке, доктора психологических наук, профессора Маркса Ароновича Кремня 381

Правила предоставления статей 383

CONTENTS

Fire and industrial safety (technical sciences)

Nazarovich A.N., Reva O.V. Criteria for the development of effective inorganic flame retardants for nonwoven fine fiber polyester materials 263

Pristupyuk D.N., Fedorov V.Y., Danilov R.A. The study of the loss of fire resistance of the reinforced concrete crossbars and beams in operation 278

Klochihin I.O., Vasiliev M.A., Tanklevskiy L.T. Prospects of the use of optical measuring instruments and devices during the testing of smoke optoelectronic spot fire detectors 294

Fomin A.V., Egorov A.A., Borisova V.A. Ensuring fire safety of hydrogen filling stations 305

Safety in emergencies (technical sciences)

Eltyshev I.P., Kopylov P.S., Pervenov E.E., Petrilin D.A., Teterin I.A., Timokhin V.V., Shangaraev R.R. Chair of combustion processes and environmental safety of the Academy of State Fire Service of EMERCOM of Russia: a glorious past – a promising future 312

Civil defense

Bulva A.D. The role and place of civil defense in the system of ensuring national security of the republic of belarus (in the context of ensuring military security) 326

Training of specialists in the field of prevention and elimination of emergencies

Palevoda I.I., Ryabtsev V.N., Likhomanov A.O., Navrotskiy O.D., Grachulin A.V., Gapanyuk D.V., Morozov A.A., Klimovtsov V.M., Vinyarskiy G.V., Shinkorenko K.E., Gusarov I.S., Bobarika I.V. Experimental model of the simulator with imitation of the effects of physical impacts in virtual reality for the training of firefighters 339

Ermilov A.V., Nikishov S.N., Bakanov M.O. Adaptation of the conditions of cadets' educational activities in accordance with the peculiarities of professional functions of extinguishing fires 361

Miscellaneous (reviews)

Pasovets V.N., Kovtun V.A., Goroshko E.U., Tagiev Sh.Sh. Particularities of methodology of investigation of passenger cars arsons 372

Palevoda I.I., Gerasimchik A.P., Bogdanovich A.B., Karkin Yu.V., Shamal' D.Yu. To the 90th anniversary of retired engineer-colonel, grand PhD in psychological sciences, professor Marks Aronovich Kremen 381

Rules of submitting articles for publication 383

КРИТЕРИИ РАЗРАБОТКИ ЭФФЕКТИВНЫХ НЕОРГАНИЧЕСКИХ ЗАМЕДЛИТЕЛЕЙ ГОРЕНИЯ ДЛЯ НЕТКАНЫХ ТОНКОВОЛОКНИСТЫХ ПОЛИЭФИРНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Назарович А.Н., Рева О.В.

Цель. Выявление важнейших критериев эффективности неорганических замедлителей горения по отношению к объемным полиэфирным материалам и особенностей термоокислительной деструкции модифицированных ими полиэфирных теплоизоляционных материалов.

Методы. Теоретический метод сравнительного анализа, экспериментальные методы гравиметрии, просвечивающей электронной микроскопии, дифференциально-сканирующей калориметрии, ГОСТированные огневые испытания.

Результаты. Исследовано влияние химического и гранулометрического состава аммонийно-фосфатных замедлителей горения на эффективность поверхностной огнезащиты и закономерности термоокислительной деструкции модифицированных ими полиэфирных волокнистых материалов. Доказано, что наиболее эффективны коллоидные системы с размерами частиц не более 50 нм, содержащие компоненты как газофазного, так и твердофазного действия. Сформулированы принципы разработки синтетических неорганических замедлителей горения для тонковолокнистых полимерных материалов.

Область применения исследований. Полученные результаты являются основой целенаправленного синтеза новых нетоксичных замедлителей горения для тонковолокнистых полиэфирных материалов различного назначения, в том числе строительных утеплителей и звукоизоляторов.

Ключевые слова: огнестойкие полиэфирные волокна, металлофосфатные замедлители горения, коллоидные частицы.

(Поступила в редакцию 13 июля 2022 г.)

Введение

В настоящее время в строительстве различных объектов широко применяются традиционные теплоизоляционные материалы на основе минеральных волокон, плиты из минеральной ваты с синтетическим связующим, стеклянных штапельных волокон, пенопласта на основе фенолоформальдегидных смол, маты теплоизоляционные из минеральной ваты вертикально-слоистые, плиты теплоизоляционные из минеральной ваты на битумном связующем, теплоизоляционные материалы из стекловолокна и др. Они обладают хорошими тепло- и шумоизолирующими свойствами и достаточно экономичны. Однако теплоизолирующие материалы на основе минеральных волокон имеют и существенные недостатки: они характеризуются низкой влагостойкостью, в процессе монтажа и эксплуатации могут выделяться вредные пары углеводородов и пыль базальтовых и стеклянных волокон, которые оказывают негативное влияние на слизистые оболочки глаз, органы дыхания и кожные покровы человека. Синтетические связующие, а также компоненты обеспыливающих органических добавок в материалах на основе минеральных волокон отрицательно влияют на окружающую среду. Для упрочнения структуры теплоизолирующих материалов из стеклянных или базальтовых волокон в их состав вводятся фенолформальдегидные смолы, которые в процессе длительной эксплуатации разрушаются и выделяют в окружающую среду формальдегид, являющийся токсичным веществом [1].

В последнее время в строительстве начали применяться нетканые теплоизоляционные материалы, вырабатываемые из синтетических полиэфирных волокон. Область их применения постоянно расширяется: от тепловой изоляции трубопроводов, жилых и нежилых построек, полного и частичного утепления стен, кровли, фундаментов до звукопогло-

щающих и звукоизолирующих конструкций. Применение таких утеплителей в строительстве позволяет не только снизить потери тепла, но и экономить основные стройматериалы: кирпич, древесину, бетон и др. Широкое применение теплоизоляционные материалы из синтетических полимеров, в частности полиэфирных, нашли также в методе «сэндвич-панелей», причем в панелях часто используются многослойные комбинации различных материалов¹.

В странах ближнего зарубежья широко представлены различные виды синтетических утеплителей с разными торговыми названиями: синтепон, «Холлофайбер», «Пенофол», «Тинсулейт», «Файбертек», а также «Шелтер», «Изософт», «Шерстипон» [2]. На отечественном рынке лидирующую позицию занимает «Акотерм», теплоизоляция из полиэфирных волокон. Большой интерес к теплоизоляционным материалам из полиэфирных волокон обусловлен высокими техническими характеристиками, которыми обладает волокно: высокая прочность, износостойкость, устойчивость к влиянию атмосферных осадков, растворителей органического происхождения, однородность по толщине, устойчивость к многократным деформациям, истиранию, относительно низкая стоимость и доступность сырья [3]. Полиэфирные волокна не выделяют опасных веществ в процессе длительной эксплуатации в широком диапазоне температур. Практически единственным недостатком этих материалов является высокая горючесть [4].

Воспламенение и горение полиэфирных материалов происходит аналогично другим горючим твердым полимерам с одновременным осуществлением как химических реакций деструкции макромолекул полимера, окисления ее горючих продуктов в газовой фазе, сшивания и карбонизации нелетучих продуктов в твердой фазе, так и физических процессов интенсивной диффузии и тепло- и массопередачи [5–7].

Особенность объемных нетканых полиэфирных утеплителей и звукоизоляционных материалов – сквозная пористость и малая теплопроводность, что уменьшает теплопотери при горении [8]. Одновременно рыхлость материала обеспечивает активное поступление воздуха в зону горения, что в сочетании с небольшим поперечным размером волокон и нитей и высокой удельной поверхностью приводит к очень быстрому их разогреву. Это способствует повышению скорости пиролиза полиэфирного нетканого утеплителя и вызывает быстрое развитие пламенной зоны. Поэтому многие вопросы в области снижения горючести и воспламеняемости объемных воздушно наполненных полиэфирных материалов остаются до настоящего времени актуальными.

Способы огнезащиты синтетических материалов основаны на принципе разрыва цикла горения волокнообразующего полимера одновременно в конденсированной и газовой фазах с целью изменения направления процесса горения в сторону образования массивного карбонизированного остатка и выхода в газовую фазу негорючих продуктов разложения антипирена [5].

Из существующих технологий получения огнезащитных синтетических материалов (модификация моновязких полимеров, введение синергических смесей антипиренов в расплав, крейзинг, облучение реакционных смесей высокоэнергетическими импульсами [9]) для утеплительных нетканых материалов чаще всего используется пропитка или спрейная обработка водными растворами замедлителей горения с пленкообразующими агентами как наиболее экономичная и технически доступная.

Для прочного закрепления неорганического антипирена на поверхности полиэфирных волокон мы разработали метод химической пришивки замедлителя горения к диэлектрику через адгезионный слой коллоидных частиц соединений Sn(II) [10]. Ряд факторов, влияющих на эффективность такой огнезащитной обработки, изучен в работах [11–13],

¹ Общая информация о теплоизоляционных материалах и их классификация [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.fermeram.com/obshhaja-informacija-o-teploizoljacionnyh-materialah-i-ih-klassifikacija.html> #Синтетические_современные_утеплители_для_стен_внутри_коттеджа. – Дата доступа: 07.07.2022.

причем несмотря на обнаруженные закономерности, оптимальный химический, фазовый и гранулометрический состав огнезащитной композиции для каждого типа материала часто подбирается эмпирически.

Целью данной работы было выявление важнейших критериев эффективности неорганических замедлителей горения по отношению к объемным полиэфирным материалам и особенностей термоокислительной деструкции модифицированных ими полиэфирных теплоизоляционных материалов.

Основная часть

Методы исследования. В данной работе выбор был остановлен на полиэфирном звуко- и теплоизоляционном материале производства «Акотерм», изготавливаемом в Республике Беларусь и широко применяющемся на различных объектах.

Огнезащитная обработка полиэфирного теплоизоляционного материала проводилась следующим способом: травление в 10 %-м растворе КОН в течение 8–10 мин, промывка, пропитка в течение 10 мин в коллоидном этанольном растворе SnCl₂ (срок хранения 15 суток), промывка и пропитка полиэфирной теплоизоляции антипиренами в течение 8–10 мин с последующей сушкой в сушильном шкафу при температуре 100–120 °С. Стандартная для текстильных материалов стадия термофиксации не проводилась, поскольку температура размягчения сополимера полиэфира «оболочки» волокна составляет 110–130 °С, а температура плавления «ядра» волокна – 258–261 °С². Термоскрепленное волокно оплавляется, материал теряет упругость, пушистость, мягкость и геометрические характеристики.

В качестве замедлителей горения использовали синтетические огнезащитные композиции КБ-2 четырех модификаций, СиАНС, и СиАН 6.5-20, представляющие собой сложносоставные дисперсные системы на основе аммонийных фосфатов двух- и трехвалентных металлов различного гранулометрического и катионно-анионного состава (табл. 1).

Таблица 1. – Компонентный состав синтетических комплексных металлофосфатных замедлителей горения

Антипирен	Состав
СиАНС	P ₂ O ₅ : FeO : SO ₃ : NH ₃
СиАН 6,5	P ₂ O ₅ : SO ₄ : NH(C ₂ H ₅) ₂
КБ-2 мод 1	P ₂ O ₅ : SO ₄ : NH ₃ : Na ₂ O
КБ-2 мод 2	P ₂ O ₅ : SO ₄ : NH ₃ : CaO
КБ-2 мод 3	P ₂ O ₅ : HCl : NH ₃
КБ-2 мод 4	P ₂ O ₅ : HCl : NH ₃ : Na ₂ O

Содержание огнезащитной композиции на полиэфирном утеплителе в единице объема поверхностного слоя мг/см³ определяли с помощью аналитических весов OHAUS Pioneer (РХ). Удельный привес антипирена к полиэфирному материалу после обработки $m_{уд}$ (мг/см³) и общий привес антипирена в процентном соотношении $\Delta m\%$ определяли по следующим формулам:

$$m_{уд} = \frac{m_1 - m_0}{V}, \quad (1)$$

$$\Delta m\% = \frac{m_1 - m_0}{m_0} \cdot 100\%, \quad (2)$$

где m_0 – исходная масса образца, мг;

m_1 – масса образца после обработки антипиреном, мг;

V – объем образца, см³.

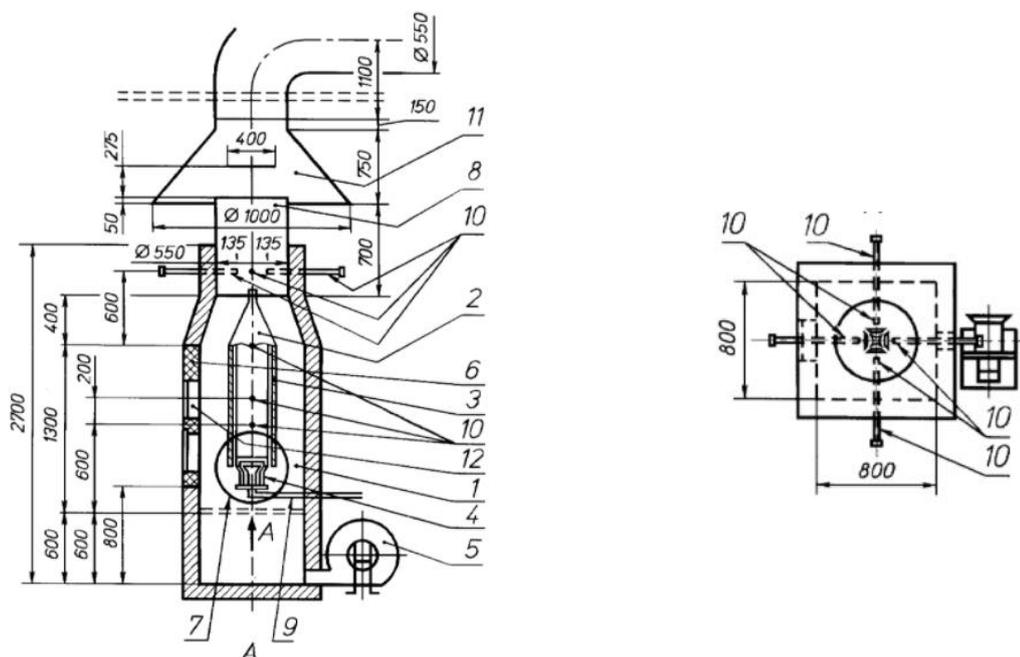
² Полиэфирное волокно [Электронный ресурс] // РосХимВолокно. – Режим доступа: https://www.roshimvolokno.ru/poliefirnoe_volokno.php. – Дата доступа: 07.07.2022.

Исследование размеров, формы и концентрации коллоидных частиц в объеме огнезащитных композиций проводили с использованием просвечивающего электронного микроскопа LEO 906E. Препарирование частиц твердой фазы проводили в соответствии с работой [14]. Пленку коллодия, полученную растеканием на поверхности дистиллированной воды 2 %-го раствора коллодия в амилацетате, наносили на медную сеточку и высушивали. После испарения растворителя и сушки наносили на пленку каплю исследуемого раствора. Затем пленку коллодия на сеточке несколько раз ополаскивали дистиллированной водой для удаления растворимых солей и высушивали. Минимально различимые при просмотре на электронном микроскопе частицы имели размер ~1 нм.

Огневые испытания проводились согласно СТБ 11.03.02-2011³ (п. 6.6 Метод определения огнезащитной эффективности пропиток для тканей). Метод состоит в определении воспламеняемости тканей. Образцы утеплителя закрепляли на рамку таким образом, чтобы нижняя кромка образца выходила за нижнюю шпильку на 5 мм. Горелку устанавливали под углом 60° к горизонтали таким образом, чтобы пламя касалось нижней кромки образца. Время воздействия пламени на образец – 15 с. При проведении испытаний фиксировали время остаточного горения, наличие пробежки пламени по поверхности образца, возгорание или тление хлопчатобумажной ваты от падающих частей или горящих капель испытуемого образца, время остаточного тления.

Определение степени горючести проводилось по требованиям ГОСТ 30244-94⁴ (метод II) в испытательной лаборатории Университета гражданской защиты МЧС Беларуси.

Установка для определения группы горючести – шахтная печь – состоит из камеры сжигания, системы подачи воздуха в камеру сжигания, газоотводной трубы и вентиляционной системы для удаления продуктов сгорания (рис. 1).



1 – камера сжигания; 2 – держатель образца; 3 – образец; 4 – газовая горелка; 5 – вентилятор подачи воздуха; 6 – дверца камеры сжигания; 7 – диафрагма; 8 – вентиляционная труба; 9 – газопровод; 10 – термопары; 11 – вытяжной зонт; 12 – смотровое окно

Рисунок 1. – Общий вид установки для определения группы горючести

³ Средства огнезащитные. Общие технические требования и методы испытаний: СТБ 11.03.02-2010. – Введ. 01.01.11. – Минск: Гос. комитет по стандартизации Респ. Беларусь, 2011. – 25 с.

⁴ Материалы строительные. Методы испытаний на горючесть: ГОСТ 30244-94. – Введ. 01.01.96. – М.: Стандартинформ, 2008. – 28 с.

В соответствии с требованиями указанного нормативного документа для определения группы горючести материалов оцениваются следующие параметры: температура дымовых газов, степень повреждения по длине, степень повреждения по массе, продолжительность самостоятельного горения (тления), для материалов групп горючести Г1–Г3 не допускается образование капель расплава.

Дифференциально-термический (ДТА) и термогравиметрический анализ (ТГА) исходного и огнезащитного полиэфирного утеплителя проводили на приборе «Термоскан-2» с регистрацией изменения массы образца и процессов, сопровождающихся выделением или поглощением тепла.

Результаты и обсуждение. Результаты гравиметрических исследований показали, что в результате пропиточной огнезащитной обработки полиэфирной теплоизоляции композициями металлофосфатных антипиренов масса образца увеличивается в 1,5–2,5 раза (рис. 2). Однако в результате стирки значительная часть замедлителя горения вымывается и на материале остается только хемосорбированный антипирен (табл. 2).

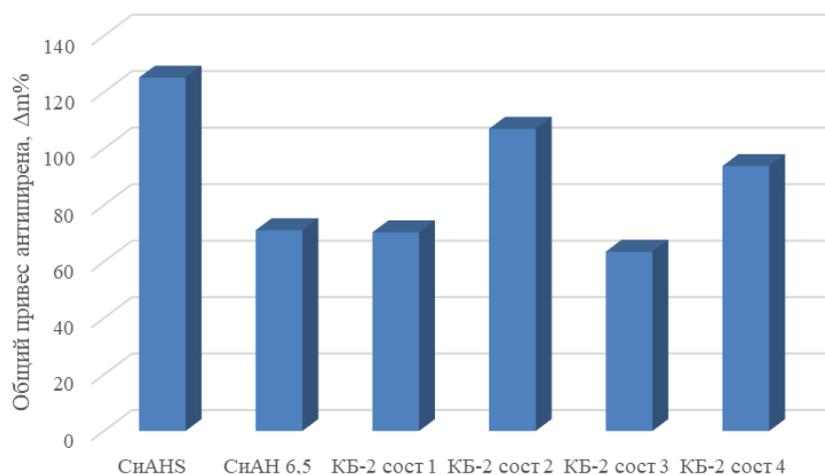


Рисунок 2. – Относительный привес металлофосфатных замедлителей горения в результате обработки полиэфирного волокнистого нетканого утеплителя

Наибольшее закрепление компонентов замедлителя горения на полиэфирном нетканом утеплителе наблюдается для огнезащитных композиций SiAHS и KB-2 мод 2: 1,24 и 0,09 мг/см³ соответственно, хотя по результатам огневых испытаний все изученные металлофосфатные составы обеспечивают обработанному полиэфирному материалу категорию стойкости к горению на уровне «трудновоспламеняемый» (табл. 2).

Таблица 2. – Результаты огневых испытаний полиэфирного материала согласно требованиям СТБ 11.03.02-2011

Замедлитель горения	Δm на материале после обработки, мг/см ³	Δm после стирки, мг/см ³	Время самостоятельного горения, с	Наличие горящих капель, +/-	Классификация по горючести
Необработанный материал	–		11–15	+	Легковоспламеняемый
SiAHS	17,62–23,11	0,47	–	–	Трудновоспламеняемый
SiAN 6,5	10,70–11,73	1,24	–	–	Трудновоспламеняемый
KB-2 мод 1	11,20–11,73	0,11	–	–	Трудновоспламеняемый
KB-2 мод 2	17,49–18,26	0,09	–	–	Трудновоспламеняемый
KB-2 мод 3	8,91–11,15	0,02	–	–	Трудновоспламеняемый
KB-2 мод 4	13,01–13,80	0,01	–	–	Трудновоспламеняемый

Так, в результате проведения огневых испытаний по методике СТБ 11.03.02-2010 установлено, что исходный образец нетканого полиэфирного утеплителя после кратковременного поджигания продолжает активное горение с растеканием горящих капель.

В случае проведения пропиточной огнезащитной обработки полиэфирного нетканого теплоизоляционного материала любым из изученных составов после отнятия пламени полиэфирный утеплитель сразу же затухает. На фотографиях видно, что при проведении испытаний сгорела только та часть образца, которая находилась непосредственно в пламени горелки (рис. 3). Оставшаяся неповрежденной часть утеплителя практически не деформирована и не потеряла функциональных свойств. Согласно требованиям СТБ 11.03.02-2010 такой материал классифицируется как трудновоспламеняемый.

Таким образом, только по результатам огневых испытаний все исследованные огнезащитные композиции удовлетворяют предъявляемым требованиям. Однако огнезащитные составы серии СиАН являются мутными и склонны к расслаиванию. Как следствие, после обработки волокнистого полиэфирного материала происходит некоторая потеря объема утеплителя, увеличение его жесткости и частичное высаливание компонентов замедлителя горения на поверхности материала с осыпанием порошка при хранении и монтаже.

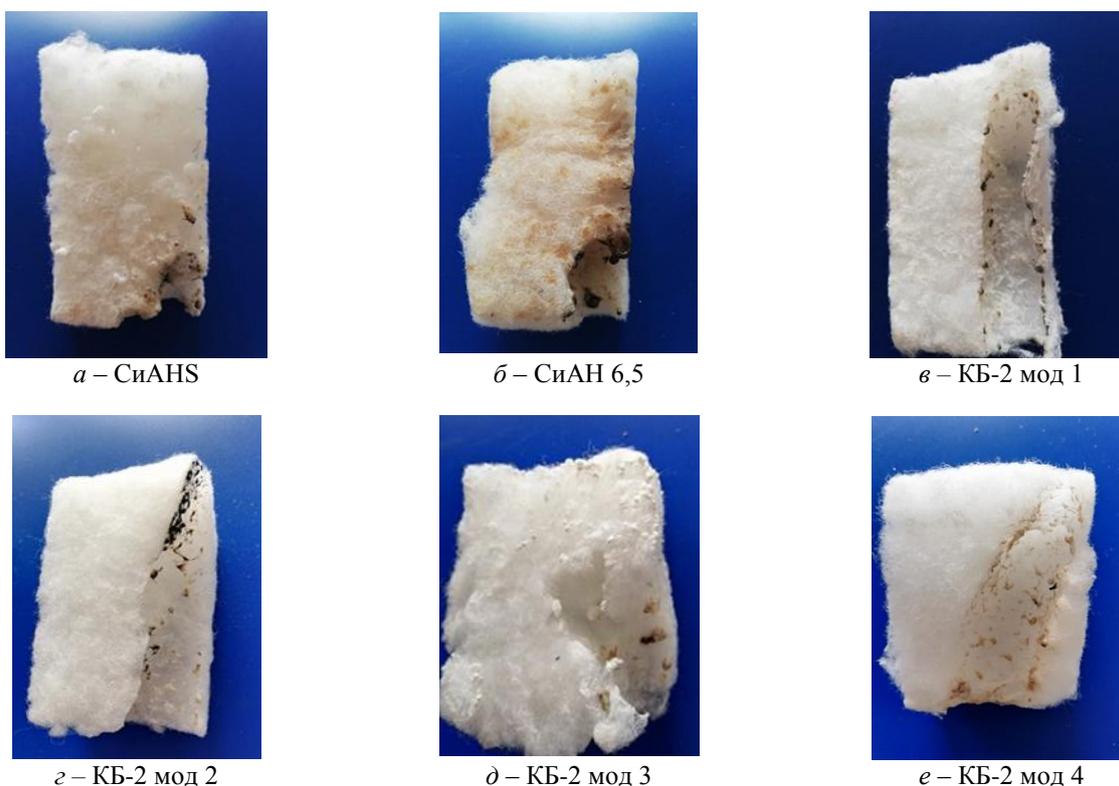


Рисунок 3. – Образцы полиэфирной теплоизоляции, обработанные антипиренами после огневого испытания

Огнезащитные составы серии КБ, представляющие собой длительно стабильные прозрачные растворы, практически не изменяют внешнего вида обработанного материала, что имеет важное технологическое и эксплуатационное значение.

Поскольку принципиальных отличий в химическом составе исследованных неорганических антипиренов нет, но они имеются в способе синтеза и нейтрализации композиций, а также наличии микродобавок, представляется важным выяснить отличия в дисперсности данных огнезащитных составов. Методом ПЭМ было установлено, что огнезащитные композиции СиАHS и СиАН 6,5 – сложносоставные тонкодисперсные системы, в которых частицы нерастворимой твердой фазы имеют размеры не более долей микрона, а в растворной части присутствуют коллоидные частицы с размерами 25–75 нм (рис. 4). Эти частицы со временем агрегируют в конгломераты с размерами до 150–200 нм, однако первичные зерна почти не увеличиваются (рис. 4). Для огнезащитной композиции КБ-2 характерно отсутствие нерастворимых частиц микронных размеров, тогда как в ее объеме

наличествуют устойчивые к агрегации длительное время коллоидные частицы с размерами 10–50 нм (рис. 4). Таким образом, все исследованные замедлители горения содержат коллоидную фазу, способную взаимодействовать с наноразмерными частицами соединений олова, хемосорбированными на активированном полиэфирном материале. Однако наиболее мелкодисперсные и однородные частицы с размерами 10–50 нм, сохраняющие длительное время свои частотно-размерные характеристики, обнаружены в составах серии КБ-2, которые оказались наиболее эффективны по отношению к огнезащите нетканых полиэфирных материалов с учетом ряда дополнительных требований.

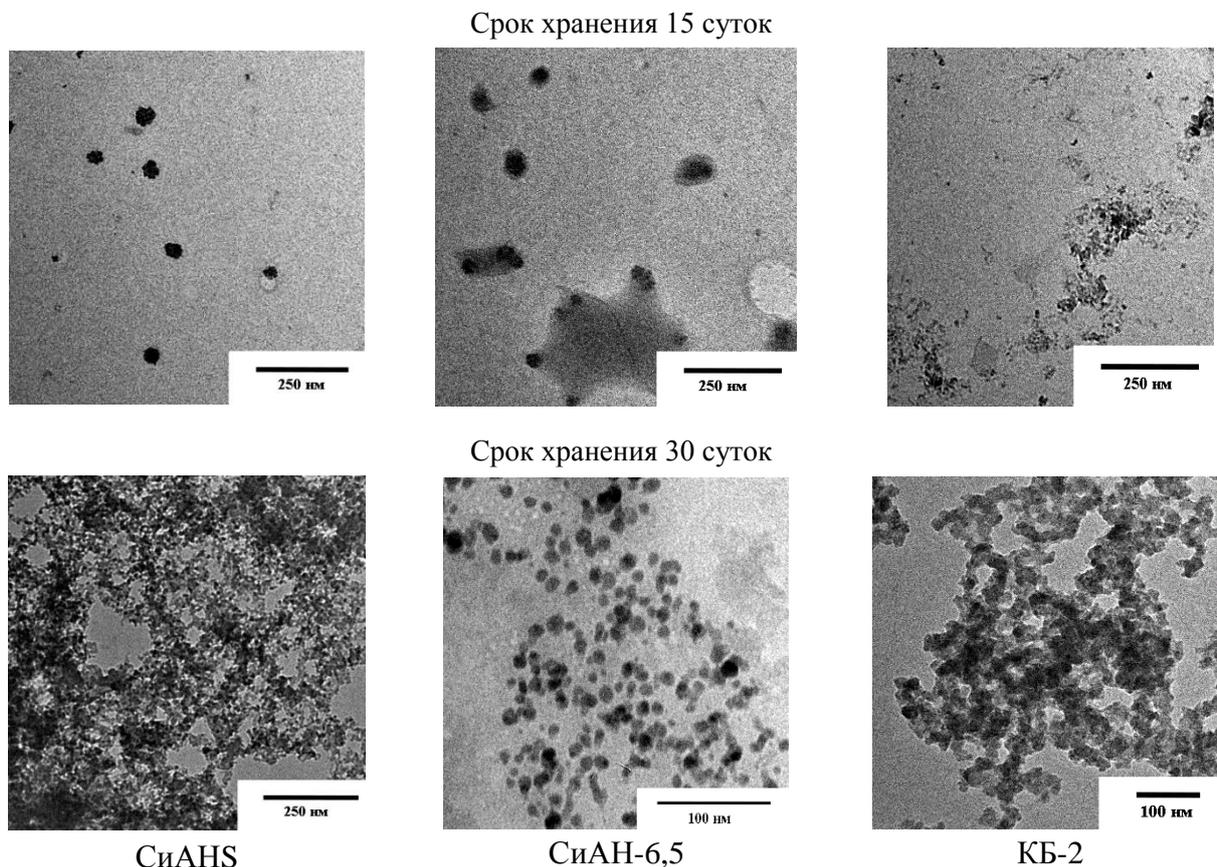


Рисунок 4. – ПЭМ фотографии частиц, формирующихся в растворяющей части огнезащитных композиций SiAHS, SiAH-6,5, КБ-2

Поскольку нетканые полиэфирные утеплители представляют собой не текстильные изделия, а отделочные звуко- и теплоизоляционные материалы, весьма важным является определение их стойкости к горению в более жестких условиях по ГОСТ 30244-94, который относится к строительным материалам. Составы серии КБ были использованы для обработки полиэфирных нетканых волокнистых материалов, испытанных в шахтной печи в испытательной лаборатории Университета гражданской защиты МЧС Беларуси.

Согласно ГОСТ 30244-94 испытание заключается в одновременном сжигании 4 полотен. Материал теплоизоляции закрепляют на четырех прямоугольных рамах, расположенных по периметру источника зажигания (рис. 5). На протяжении 10 мин происходит воздействие на образец пламени от источника зажигания и фиксируется увеличение температуры в камере сжигания. По истечении 10 мин источник пламени выключают. При наличии пламени или признаков тления фиксируют продолжительность самостоятельного горения. Для каждого испытания определяют температуру дымовых газов, продолжительность горения или тления, длину повреждения образца, массу образца до и после испытания.

В результате проведенных огневых испытаний установлено, что для исходного полиэфирного материала во всех случаях присутствовало сквозное прогорание образцов с существенным повреждением как по длине, так и по массе (рис. 5, табл. 3). На поверхности испытанных образцов присутствовало локальное вспучивание и спекание материала, происходило образование горящих капель расплавленного полимера; средняя температура дымовых газов достигала 149,3 °С (рис. 5, табл. 3).



а – исходные образцы
б – образцы, пропитанные КБ-2
Рисунок 5. – Испытания в шахтной печи и образцы после проведения испытаний по ГОСТ 30244-94

Следовательно, данный материал с высокой вероятностью воспламенится при попадании искры и станет самостоятельным источником горения, что недопустимо для объектов с массовым пребыванием людей или промышленных зданий и сооружений с потенциально пожароопасным производством. Данный материал согласно требованиям ГОСТ 30244-94 относится к группе горючести Г4.

Для обработанного замедлителем горения КБ-2 полиэфирного утеплителя во всех случаях сквозное прогорание материала отсутствует, степень повреждения по массе не превышает 2 %. Средняя температура дымовых газов составила 127,4 °С (табл. 3, рис. 6). На поверхности испытанных образцов присутствовало локальное вспучивание в зоне воздействия пламени, однако образование горящих капель расплавленного полимера и самостоятельное горение не наблюдались. Данный материал по требованиям ГОСТ 30244-94 относится к группе горючести Г1.

Таблица 3. – Результаты огневых испытаний полиэфирной теплоизоляции согласно требованиям ГОСТ 30244-94 (метод II)

Определяемые характеристики	Исходный образец – полиэфирный материал	Полиэфирный утеплитель, обработанный композицией КБ-2
Температура дымовых газов T , °С	149,3	127,4
Продолжительность самостоятельного горения $t_{с.г.}$, с	–	–
Степень повреждения по длине S_L , %	25,1	10,2
Степень повреждения по массе S_m , %	11,3	1,85
Наличие горящих капель, +/-	+	–

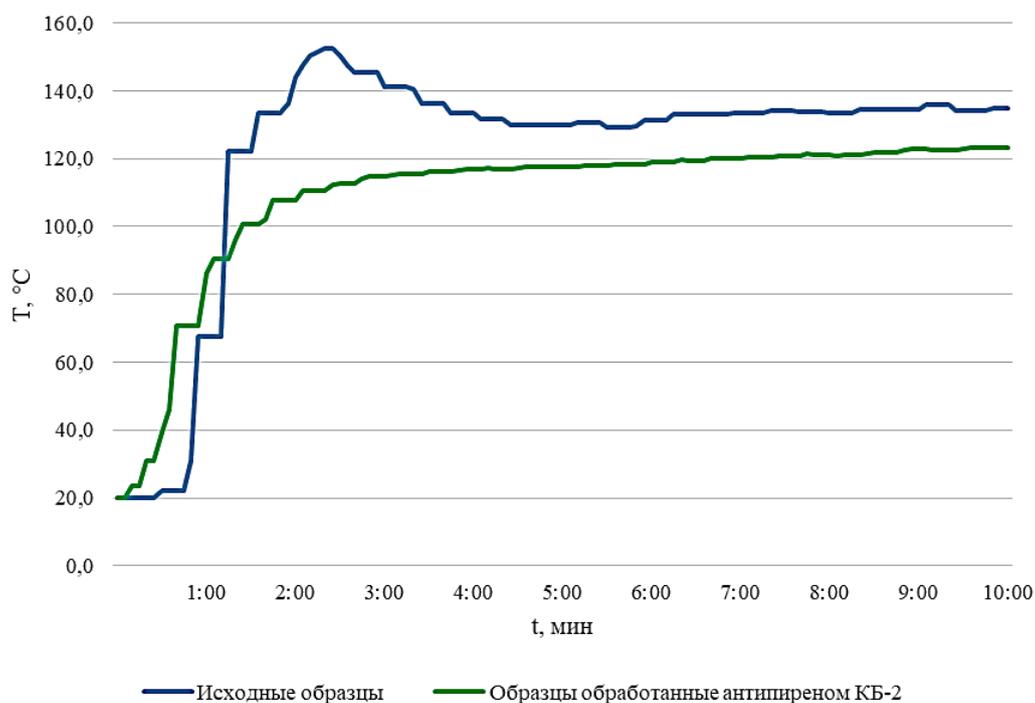
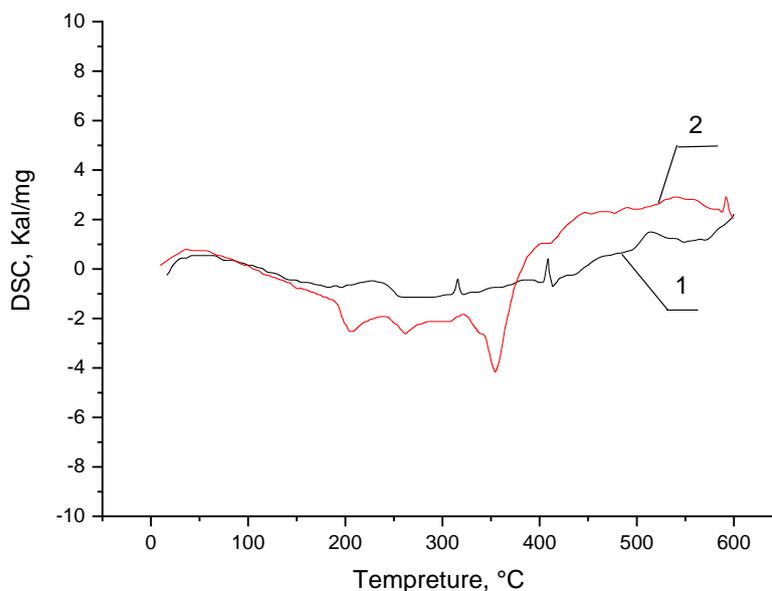


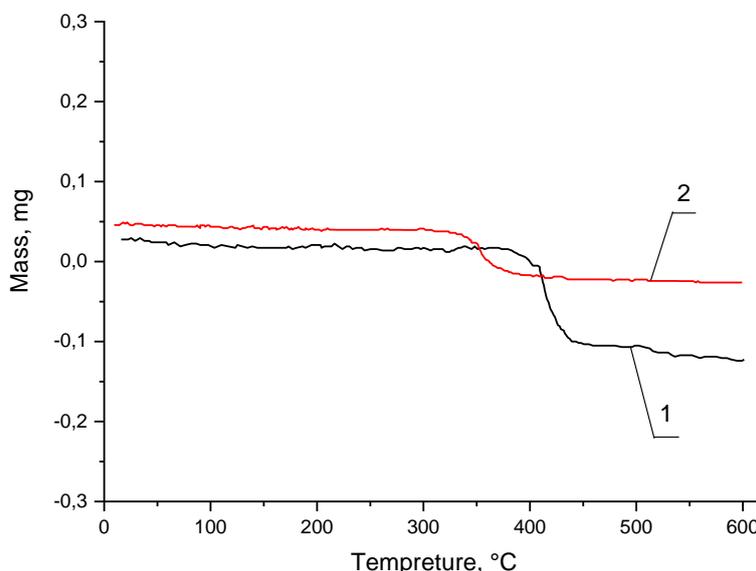
Рисунок 6. – Изменение средней по четырем термопарам температуры дымовых газов во время испытания в шахтной печи

Проведенные исследования и огневые испытания свидетельствуют, что поверхностная огнезащитная обработка нетканого полиэфирного утеплителя неорганической металлофосфатной коллоидосодержащей композицией КБ-2 приводит к существенному изменению закономерностей его термодеструкции и горения. Для выяснения особенностей огнезамедлительного действия данного состава было проведено исследование закономерностей термодеструкции огнезащищенного полиэфирного нетканого утеплителя методом дифференциально-сканирующей калориметрии (рис. 7).

Полученные результаты свидетельствуют о существенном замедлении термодеструкции полиэфирного материала вследствие огнезащитной обработки. Потеря массы модифицированным полиэфирным волокнистым материалом начинается при ~ 320 °С, тогда как для необработанного образца – при 380 °С (рис. 7); суммарная потеря массы огнезащищенным утеплителем не менее чем на 35 % ниже по сравнению с исходным материалом. Очевидно, в отличие от необработанного полимерного материала, для огнезащищенного образца потеря массы при более низких температурах происходит не за счет распада полимерного скелета и деструкции крупных мономеров, а в значительной степени связана с разложением компонентов антипирена и выходом в газовую фазу ингибиторов горения. Этот вывод доказывается появлением на дифференциальной кривой эндотермических пиков в областях температур 200, 260, 360 °С, явно соответствующих поглощению тепла на выделение связанной воды из кристаллогидратов, плавление и разложение компонентов замедлителя горения.



а – дифференциальный термический анализ (ДТА)



б – термогравиметрия (ТГ)

1 – исходный образец; 2 – после огнезащитной обработки композицией КБ-2

Рисунок 7. – Кривые ДТА и ТГ для полиэфирного теплоизоляционного материала

При этом экзотермический пик при ~ 510 °С, соответствующий началу пламенного горения летучих продуктов распада полиэфирных звеньев, для модифицированного образца отсутствует (рис. 7); небольшой пик, который можно отнести к горению органических «осколков», обнаруживается только при 590 °С. Таким образом, для нетканого полиэфирного утеплителя, модифицированного антипиреном КБ-2, в области температур 180–360 °С происходят комплексные процессы одновременного расплавления и разложения антипирена и полимера с вероятным взаимодействием продуктов деструкции замедлителя горения с полимером в конденсированной фазе.

Заключение

В результате проведенных исследований установлено, что количество огнезащитной композиции, химически закрепленной на нетканом волокнистом полиэфирном материале без термофиксации, существенно зависит от химического и гранулометрического состава антипирена. Наилучшие результаты не только по устойчивости к горению, но и по физико-

механическим и эксплуатационным свойствам обработанного волокнистого полиэфирного материала обеспечивает синтетический аммонийно-металлофосфатный замедлитель горения КБ-2 мод 2, в объеме которого присутствуют коллоидные частицы с размерами 10–50 нм.

Обработка полиэфирного утеплителя данным замедлителем горения обеспечивает материалу наивысшую категорию стойкости к горению «трудновоспламеняемый» согласно требованиям СТБ 11.03.02-2010 (для текстильных материалов) и группу горючести Г1 по ГОСТ 30244-94 для строительных материалов. Результаты огневых испытаний и дифференциально-сканирующей калориметрии доказывают существенное изменение закономерностей термодеструкции огнезащищенного полиэфирного материала: замедление разложения полимера за счет поглощения тепла замедлителем горения с формированием коксового слоя и выходом ингибиторов горения в газовую фазу.

Таким образом, полученные результаты позволяют сформулировать следующие принципы разработки новых синтетических неорганических замедлителей горения для тонковолокнистых полимерных материалов: огнезащитная композиция должна быть тонкодисперсной коллоидной системой с размером частиц не более 50 нм, что реализуется в присутствии в ее составе ионов металлов, и содержать компоненты как твердофазного (фосфаты), так и газофазного (аммонийные соединения) действия.

ЛИТЕРАТУРА

1. Лисиенкова, Л.Н., Перспективы применения нетканых теплоизоляционных материалов / Л.Н. Лисиенкова, Л.Ю. Комарова // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2021. – Вып. 4. – С. 26–31. DOI: 10.24412/2071-6168-2021-4-26-31. – EDN: YUNNMX.
2. Мухамеджанов, Г.К. Нетканые теплоизоляционные строительные материалы и изделия / Г.К. Мухамеджанов // Полимерные материалы. Изделия, оборудование, технологии. – 2013. – Вып. 3. – С. 26–29.
3. Перепелкин, К.Е. Химические волокна: развитие производства, методы получения, свойства, перспективы: монография / К.Е. Перепелкин. – СПб.: Изд-во СПГУТД, 2008. – 354 с.
4. Булгаков, В.К. Моделирование горения полимерных материалов / В.К. Булгаков, В.Н. Кодолов, А.М. Липанов. – М.: Химия, 1990. – 240 с.
5. Асеева, Р.М. Горение полимерных материалов / Р.М. Асеева, Г.Е. Заиков. – М.: Наука, 1981. – 280 с.
6. Кодолов, В.И. Замедлители горения полимерных материалов / В.И. Кодолов. – М.: Химия, 1980. – 274 с.
7. Копылов, В.В. Полимерные материалы с пониженной горючестью: монография / В.В. Копылов [и др.]; под ред. А.Н. Праведникова. – М.: Химия, 1986. – 224 с.
8. Перепелкин, К.Е. Армирующие волокна и волокнистые полимерные композиты: монография / К.Е. Перепелкин. – СПб.: Изд-во «Научные основы и технологии», 2015. – 380 с.
9. Зубкова, Н.С. Регулирование процессов термоллиза и горения термопластичных волокнообразующих полимеров и создание материалов с пониженной горючестью: дис. ... д-ра хим. наук: 02.00.06 / Н.С. Зубкова. – Мытищи, 1998. – 333 л.
10. Рева, О.В. Влияние природы органических растворителей на стабильность и активирующую способность коллоидных растворов SnCl₂ / О.В. Рева [и др.] // Весці Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі. Серыя хімічных навук. 2020. – Т. 56, № 4. – С. 434–444. – DOI: 10.29235/1561-8331-2020-56-4-434-444. – EDN: SGCMZP.
11. Рева, О.В. Влияние состава неорганических замедлителей горения, хемосорбированных на полиэфирном волокнистом материале, на закономерности его термодеструкции / О.В. Рева [и др.] // Вестник Командно-инженерного института МЧС Республики Беларусь. – 2016. – № 1 (23). – С. 4–12. – EDN: VKXNRF.
12. Рева, О.В. Исследование закономерностей формирования и характеристик коллоидных частиц в оловосодержащих органозолях, предназначенных для активации поверхности полиэфирных волокнистых материалов / О.В. Рева [и др.] // Журнал прикладной химии. – 2017. – Т. 90, вып. 6. – С. 778–786. – EDN: ZGFUGH.

13. Рева, О.В. Синтез и исследование огнезащитных свойств новых металлофосфатных замедлителей горения для текстильных материалов, используемых в защитной одежде / О.В. Рева [и др.] // Вестник Университета гражданской защиты МЧС Беларуси. – 2021. – Т. 5, № 4. – С. 402–417. DOI: 10.33408/2519-237X.2021.5-4.402. – EDN: PMSJNB.
14. Воробьева, Т.Н. Задание и методические указания к лабораторному практикуму по спецкурсу «Методы исследования твердых тел». Раздел «Электроннография и электронная микроскопия»: учеб. издание / Т.Н. Воробьева. – Минск: БГУ, 2007. – 37 с.

**Критерии разработки эффективных неорганических замедлителей горения
для нетканых тонковолокнистых полиэфирных материалов**

**Criteria for the development of effective inorganic flame retardants
for nonwoven fine fiber polyester materials**

Назарович Андрей Николаевич

Министерство по чрезвычайным ситуациям
Республики Беларусь, отдел науки
и инновационного развития,
главный специалист

Адрес: ул. Революционная, 5,
220030, г. Минск, Беларусь
Email: nazarovich.andry@gmail.com
ORCID: 0000-0002-2547-4806

Andrei N. Nazarovich

Ministry of Emergency Situations
of the Republic of Belarus, Department
of Scientific and Innovation Development,
Chief Specialist

Address: Revolyutsionnaya str., 5,
220030, Minsk, Belarus
Email: nazarovich.andry@gmail.com
ORCID: 0000-0002-2547-4806

Рева Ольга Владимировна

кандидат химических наук, доцент

Государственное учреждение образования
«Университет гражданской защиты
Министерства по чрезвычайным ситуациям
Республики Беларусь», кафедра
химической, биологической, радиационной
и ядерной защиты, профессор

Адрес: ул. Машиностроителей, 25,
220118, г. Минск, Беларусь
Email: volha107@rambler.ru
ORCID: 0000-0003-4006-8678

Olga V. Reva

PhD in Chemical Sciences, Associate Professor

State Educational Establishment «University
of Civil Protection of the Ministry for Emergency
Situations of the Republic of Belarus»,
Chair of Chemical, Biological, Radiation
and Nuclear Protection, Professor

Address: Mashinostroiteley str., 25,
220118, Minsk, Belarus
Email: volha107@rambler.ru
ORCID: 0000-0003-4006-8678

CRITERIA FOR THE DEVELOPMENT OF EFFECTIVE INORGANIC FLAME RETARDANTS FOR NONWOVEN FINE FIBER POLYESTER MATERIALS

Nazarovich A.N., Reva O.V.

Purpose. Identification of the most important criteria for the effectiveness of inorganic flame retardants in relation to bulk polyester materials and the features of thermal-oxidative degradation of polyester heat-insulating materials modified by them.

Methods. Theoretical method of comparative analysis, experimental methods of gravimetry, transmission electron microscopy, differential scanning calorimetry, GOST fire tests.

Findings. The influence of the chemical and particle size distribution of ammonium phosphate flame retardants on the effectiveness of surface fire protection and the laws of thermo-oxidative destruction of polyester fiber materials modified by them was investigated. It has been proven that colloidal systems with particle sizes of no more than 50 nm, containing components of both gas-phase and solid-phase action, are the most effective. The principles for the development of synthetic inorganic flame retardants for fine-fiber polymeric materials are formulated.

Application field of research. The results obtained are the basis for the targeted synthesis of new non-toxic flame retardants for fine-fiber polyester materials for various purposes including building insulation and sound insulator.

Keywords: flame protected polyester fibers, metal phosphate flame retardant, colloidal particles.

(The date of submitting: July 13, 2022)

REFERENCES

1. Lisienkova L.N., Komarova L.Yu. Perspektivy primeneniya netkanykh teploizolyatsionnykh materialov [Prospects for the use of non-woven thermal insulation materials]. *Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Tekhnicheskie nauki*, 2021. Iss. 4. Pp 26–31. (rus). DOI: 10.24412/2071-6168-2021-4-26-31. EDN: YYHHMX.
2. Mukhamedzhanov G.K. Netkanye teploizolyatsionnye stroitel'nye materialy i izdeliya [Non-woven heat-insulating building materials and products]. *Polymer materials. Products, equipment, technology*, 2013. Iss.3. Pp. 26–29. (rus)
3. Perepelkin K.E. *Khimicheskie volokna: razvitie proizvodstva, metody polucheniya, svoystva, perspektivy: monografiya* [Chemical fibers: development of production, manufacturing methods, properties, prospects]: monograph. St. Petersburg: SPGUTD, 2008. 354 p. (rus)
4. Bulgakov V.K., Kodolov V.N., Lipanov A.M. *Modelirovanie goreniya polimernykh materialov* [Modeling of combustion of polymeric materials]. Moscow: Khimiya, 1990. 238 p. (rus)
5. Aseeva R.M., Zaikov G.E. *Gorenie polimernykh materialov* [Combustion of polymeric materials]. Moscow: Nauka, 1981. 280 p. (rus)
6. Kodolov V.I. *Zamedliteli goreniya polimernykh materialov* [Flame retardants for polymeric materials]. Moscow: Khimiya, 1980. 274 p. (rus)
7. Kopylov V.V., Novikov S.N., Oksent'evich L.A., Gefter E.L., Korotkevich S.Kh., Rilo R.P. *Polimernye materialy s ponizhennoy goryuchest'yu* [Polymeric materials with reduced flammability]: monograph. Ed. by A.N. Pravednikov. Moscow: Khimiya, 1986. 224 p. (rus)
8. Perepelkin, K.E. *Armiruyushchie volokna i voloknistye polimernye kompozity* [Reinforcing fibers and fibrous polymer composites]: monograph. St. Petersburg: Izd. Nauchnye osnovy i tekhnologii, 2015. 380 p. (rus)
9. Zubkova N.S. *Regulirovanie protsessov termoliza i gorenija termoplastichnykh voloknoobrazuyushchikh polimerov i sozdanie materialov s ponizhennoy goryuchest'yu* [Regulation of the processes of thermolysis and combustion of thermoplastic fiber-forming polymers and the creation of materials with reduced flammability]. Grand PhD chemical sci. diss.: 02.00.06. Mytishchi, 1998. 333 p. (rus)
10. Reva O.V., Nazarovich A.N., Bogdanova V.V., Vrublevskiy A.V. Vliyanie prirody organicheskikh rastvoriteley na stabil'nost' i aktiviruyushchuyu sposobnost' kolloidnykh rastvorov SnCl₂ [Influence of the organic solvents nature on the stability and activating ability of SnCl₂ colloidal solutions]. *Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus, Chemical Series*, 2020. Vol. 56, No 4. Pp. 434–444. (rus). DOI: 10.29235/1561-8331-2020-56-4-434-444. EDN: SGCMZP.

11. Reva O.V., Bogdanova V.V., Nazarovich A.N., Shukelo Z.V. Vliyaniye sostava neorganicheskikh zamedliteley goreniya, khemosorbiruyemykh na poliefirnom voloknistom materiale, na zakonomernosti ego termodestruktsii [Influence of inorganic flame retardants, chemisorbed on polyester fiber materials on the patterns of its thermal destruction]. *Vestnik Komandno-inzhenerenogo instituta MChS Respubliki Belarus'*, 2016. No. 23 (1). Pp. 4–12. (rus). EDN: VKXNRF.
12. Reva O.V., Bogdanova V.V., Vrublevskii A.V., Nazarovich A.N. Relationships of formation and characteristics of colloidal particles in tin-containing organosols intended for activation of the surface of fibrous polyester materials. *Russian Journal of Applied Chemistry*, 2017. Vol. 90, No. 6. Pp. 931–939. DOI: 10.1134/S1070427217060143. EDN: XNVMPG.
13. Reva O.V., Bogdanova V.V., Shukelo Z.V., Nazarovich A.N., Kobets O.I. Sintez i issledovanie ognезashchitnykh svoystv novykh metallofosfatnykh zamedliteley goreniya dlya tekstil'nykh materialov, ispol'zuemykh v zashchitnoy odezhde [Synthesis and investigation of the flame-retardant properties of new metallophosphate burning retardants for textile materials used in protective clothing]. *Journal of Civil Protection*, 2021. Vol. 5, No. 4. Pp. 402–417. (rus). DOI: 10.33408/2519-237X.2021.5-4.402. EDN: PMCJNB.
14. Vorob'eva T.N. *Zadaniye i metodicheskie ukazaniya k laboratornomu praktikumu po spetskursu «Metody issledovaniya tverdykh tel»*. Razdel «Elektronografiya i elektronnaya mikroskopiya» [Assignment and guidelines for the laboratory workshop on the special course «Methods for the study of solids». Section «Electronography and electron microscopy»]: educational edition. Minsk: Belarusian State University, 2007. 37 p. (rus)

ИССЛЕДОВАНИЕ УТРАТЫ ОГНЕСТОЙКОСТИ ЭКСПЛУАТИРУЕМЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ РИГЕЛЕЙ И БАЛОК

Приступюк Д.Н., Федоров В.Ю., Данилов Р.А.

Цель. Развитие теории огнестойкости конструкций, зданий и сооружений с учетом одного из направлений комбинированных особых воздействий с участием пожара – оценки пределов огнестойкости железобетонных конструкций с учетом длительности и условий их эксплуатации.

Методы. Для определения эксплуатационных пределов огнестойкости использован аналитический метод решения статической задачи, метод конечно-элементного анализа при решении теплотехнической задачи огнестойкости. Результаты огневых испытаний использованы для подтверждения достоверности данных, полученных методом моделирования.

Результаты. Установлено, что уже при снижении несущей способности в процессе эксплуатации на 25 % железобетонные конструкции теряют около 50 % своего первоначального значения предела огнестойкости. Доказано, что динамика утраты огнестойкости железобетонных ригелей и балок главным образом зависит от категории технического состояния, а не от их конструктивных параметров.

Область применения исследований. Представленные результаты исследований огнестойкости получены для эксплуатируемых железобетонных конструкций (ЖБК) и могут использоваться для прогнозирования поведения эксплуатируемых ЖБК в условиях пожара, разработки моделей и совершенствования норм в области проектирования пределов огнестойкости железобетонных конструкций.

Ключевые слова: огнестойкость, железобетонные конструкции, коэффициент утраты огнестойкости, коррозия, износ, железобетонные балки, железобетонные ригели, комбинированные особые воздействия.

(Поступила в редакцию 12 июля 2022 г.)

Введение

Железобетон является главным строительным материалом современности, который широко используется при возведении как жилого фонда, так и промышленных зданий. Активное применение железобетонных конструкций во всех сферах строительной области обусловлено спектром достоинств данного вида конструкций. Однако, несмотря на высокую прочность, кажущуюся невосприимчивость к воздействиям окружающей среды и негорючесть, на практике железобетонные конструкции также подвержены разрушению вследствие износа и коррозии. В зависимости от степени агрессивности среды это может происходить за считанные годы.

Дефекты и повреждения, появившиеся в условиях эксплуатации, приводят к изменению технического состояния, а в итоге к изменению пределов огнестойкости железобетонных конструкций.

Отсутствие учета коррозии и износа в нормативных документах и пособиях по проектированию пределов огнестойкости железобетонных конструкций приводит к весьма существенной недооценке реальной опасности пожаров для зданий и сооружений.

В настоящее время в Академии ГПС МЧС России проводится ряд научных исследований, направленных на изучение проблемы оценки пределов огнестойкости эксплуатируемых строительных конструкций. Выдвинута гипотеза, что пределы огнестойкости железобетонных элементов больше зависят от технического состояния конструкции, нежели от их конструктивных особенностей.

Таким образом, целью статьи является исследование изменения пределов огнестойкости железобетонных конструкций, а именно ригелей и балок в условиях эксплуатации.

Основная часть

Проблема оценки пределов огнестойкости эксплуатируемых железобетонных конструкций. Проблема устаревания зданий и износа строительного фонда актуальна для всех стран постсоветского пространства. Даже в России, которая является лидером региона с наиболее устойчивой и развитой экономикой, согласно статистическим данным средний возраст жилых зданий составляет 37 лет, треть жилых зданий построена до 1970 г. [1]. Площадь аварийного жилого фонда достигала в 2018 г. 25,5 млн м², средний возраст зданий по всем основным фондам достиг 42 лет, доля полностью изношенных основных фондов возросла с 17,9 % в 2017 г. до 20,6 % в 2020 г. [2]. Несмотря на громадные инвестиции в строительство, направлены они главным образом на постройку новых зданий с целью получения прибыли с аренды.

Аналогичная ситуация и в промышленности. Существенная часть всех производственных объектов была построена в СССР в период до 1970-х гг. В условиях дальнейшей стагнации экономики и распада страны в 1990-е новые производственные мощности вводились ограниченно, а затраты на их обновление снижались. Рост износа строительных конструкций происходит на фоне снижения коэффициента обновления основных фондов – параметра, свидетельствующего о степени обновления существующих объектов.

В 2000 г. он составлял 1,3 %, в 2017 г. – 0,7 % [3]. В то же время отсутствуют нормативные положения, регламентирующие необходимость учета длительности и условий эксплуатации железобетонных конструкций при определении их фактических пределов огнестойкости. Растущий из года в год ущерб от крупных пожаров на фоне общего сокращения их количества [4] также косвенно свидетельствует о проблеме утраты огнестойкости эксплуатируемых железобетонных конструкций.

Средства и методы исследования. Наиболее достоверный метод для оценки пределов огнестойкости железобетонных конструкций – огневые испытания, однако они непрактичны, затратны и сложны в реализации [5; 6]. В настоящее время существенное развитие получило применение компьютерного моделирования, в том числе при исследовании огнестойкости железобетонных конструкций, которое позволяет варьировать больший спектр различных параметров, сохраняя высокую точность полученных результатов [6]. Таким образом, оценка влияния изменения несущей способности (технического состояния) железобетонных конструкций при воздействии пожара на их пределы огнестойкости в условиях эксплуатации проводилась путем численного эксперимента с помощью конечно-элементного анализа при использовании вычислительного комплекса Ansys Mechanical, модуль Transient Thermal (далее – ВК Ansys).

В математическое описание нагрева произвольных конструкций входит дифференциальное уравнение, описывающее распространение тепла в твердом теле с известными теплофизическими свойствами, а также начальные и граничные условия.

Нагрев наружной поверхности конструкций определялся граничными условиями 3-го рода с учетом конвективной и лучистой составляющей теплообмена [7]. При этом используется режим стандартного пожара¹, коэффициент теплоотдачи конвекцией от нагревающей среды к поверхности конструкции с равен 29 Вт/(м²×К), степень черноты поверхности бетона принята равной 0,7 и 1,0 для пламени (греющей среды), для контура примыкания бетона к стальной арматуре принят идеальный тепловой контакт. Места примыкания железобетонной балки (ригеля) к другим конструкциям (железобетонные плиты) принимали имеющими идеальную теплоизоляцию.

¹ Конструкции строительные. Методы испытаний на огнестойкость. Общие требования: ГОСТ 30247.0–94 (ИСО 834–75). – Введ. 01.01.96. – М.: ИПК Изд-во стандартов, 2003. – 8 с.

Коэффициент теплообмена на необогреваемой поверхности определялся по формуле:

$$\alpha' = 1,5\sqrt[3]{T_i - T_0} + 5,77\epsilon_{red} \frac{(T_i/100)^4 - (T_0/100)^4}{T_i - T_0}, \quad (1)$$

где T_i и T_0 – температуры необогреваемой и обогреваемой поверхностей конструкции, К;

ϵ_{red} – степень черноты системы огневая камера – бетонная поверхность.

Для обеспечения достоверности результатов, получаемых с помощью ВК Ansys, необходимо проведение верификации разрабатываемых численных моделей на основе результатов огневых испытаний. В качестве таковых использовались результаты натурных огневых испытаний, полученные профессором А.И. Яковлевым². В качестве эталонных были выбраны железобетонные балки с различными техническими параметрами. Время огневого воздействия составило 120 мин; материал всех конструкций – тяжелый бетон на известняковом заполнителе, плотностью $\rho = 2250 \text{ кг/м}^3$ и влажностью 2 %. Зависимости теплофизических параметров бетона были приняты согласно работе А.И. Яковлева³.

Для проведения вычислительных операций были разработаны конечно-элементные модели сечений конструкций. В результате воссоздания огневых испытаний, в процессе численного эксперимента получены поля температур по сечениям конструкции, построен график изменения температуры конструкции в точке замера термодатчиков на опытном образце от времени огневого воздействия. Результаты сравнения полученных данных для железобетонных конструкций с результатами огневых испытаний на примере температуры растянутой арматуры балок в опорном и пролетных сечениях представлены на рисунках 1–2. Анализ полученных данных показывает, что результаты численного моделирования имеют отклонения от результатов огневых испытаний не более чем на 10 %. Таким образом, разработанная расчетная модель может быть использована для получения достоверных результатов на дальнейших этапах исследования огнестойкости железобетонных конструкций.

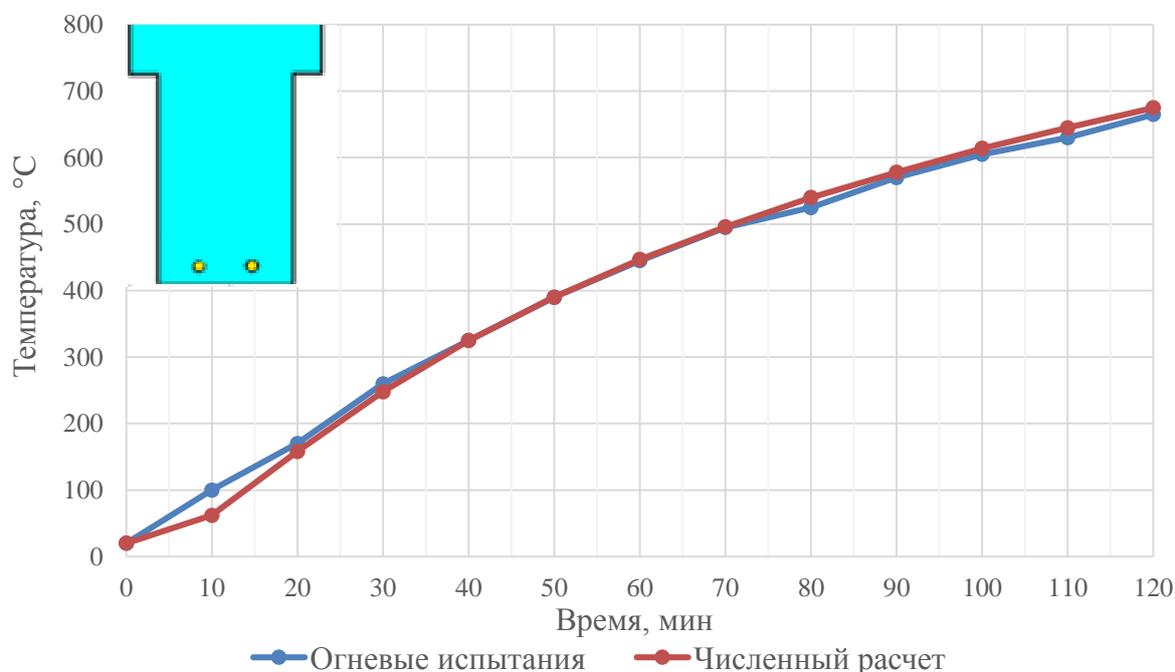


Рисунок 1. – Средняя температура арматуры в пролетном сечении балки

² Яковлев, А.И. Основы расчета огнестойкости железобетонных конструкций: дис. докт. техн. наук / А.И. Яковлев. – Москва, 1966. – 515 л.

³ См. сноску 2.

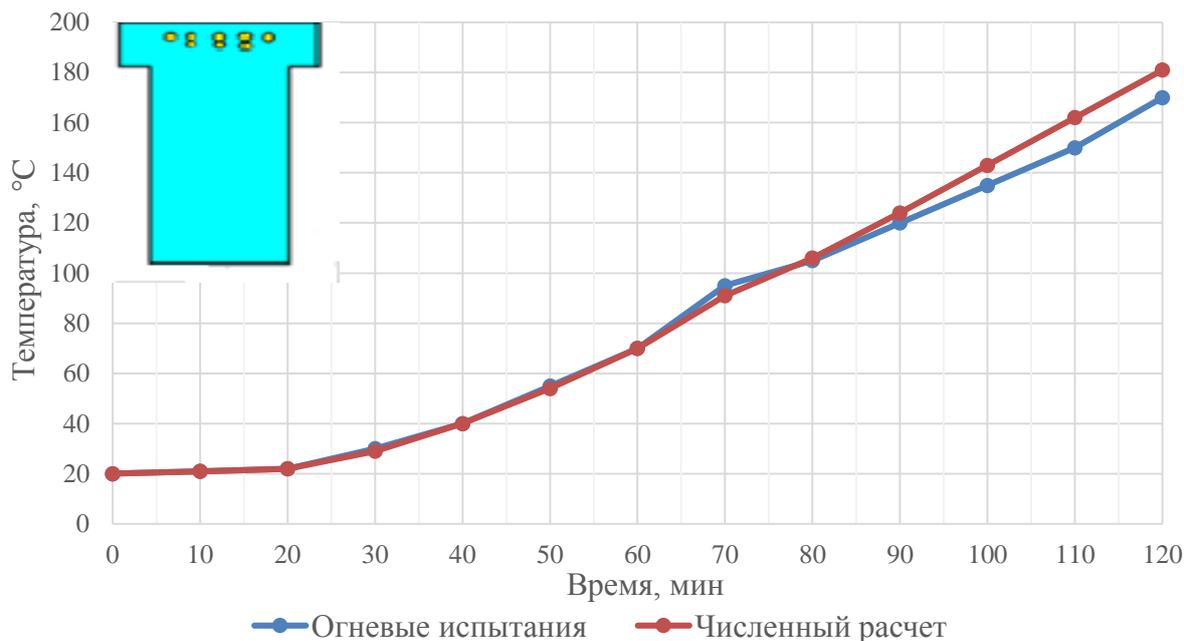


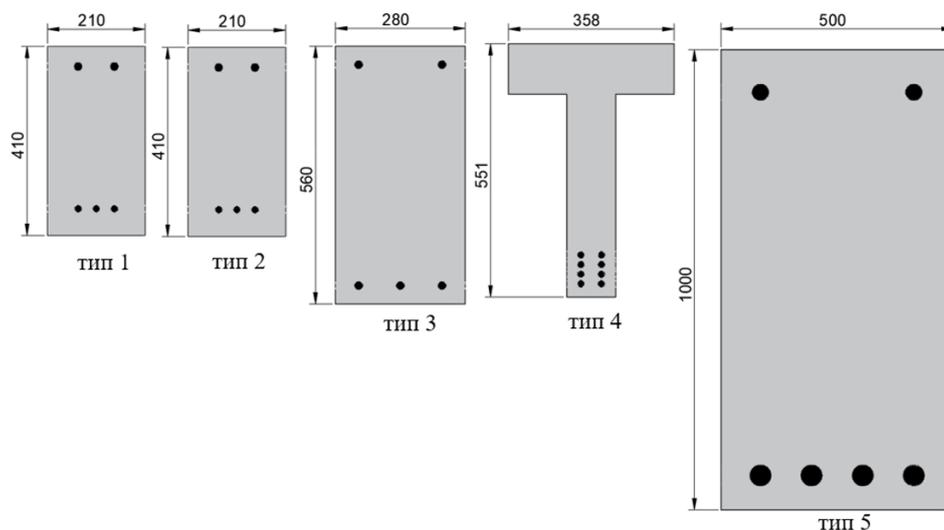
Рисунок 2. – Средние температуры растянутой арматуры в опорном сечении

Начальная температура рассматриваемых железобетонных конструкций до пожара и температура окружающей среды вне зоны пожара при задании начальных условий принималась равной $T_n = 293$ К.

Предметом исследования являлись железобетонные конструкции, а именно железобетонные ригели и балки. В конструкциях балок применены бетоны на известняковом заполнителе ($\rho = 2330$ кг/м³) с влажностью 4 % и гранитном заполнителе ($\rho = 2350$ кг/м³) с влажностью 2 %. Для ригелей использовался бетон на гранитном щебне ($\rho = 2430$ кг/м³) с влажностью 2 %.

В качестве рассматриваемых конструкций были приняты 5 типов железобетонных балок (рис. 3а) и 4 типа ригелей (рис. 3б).

Поперечное сечение балок и ригелей подвергалось равномерному тепловому воздействию по трем сторонам наружного периметра сечений.



а

Рисунок 3. – Поперечные сечения рассматриваемых типов железобетонных балок (а) и ригелей (б)

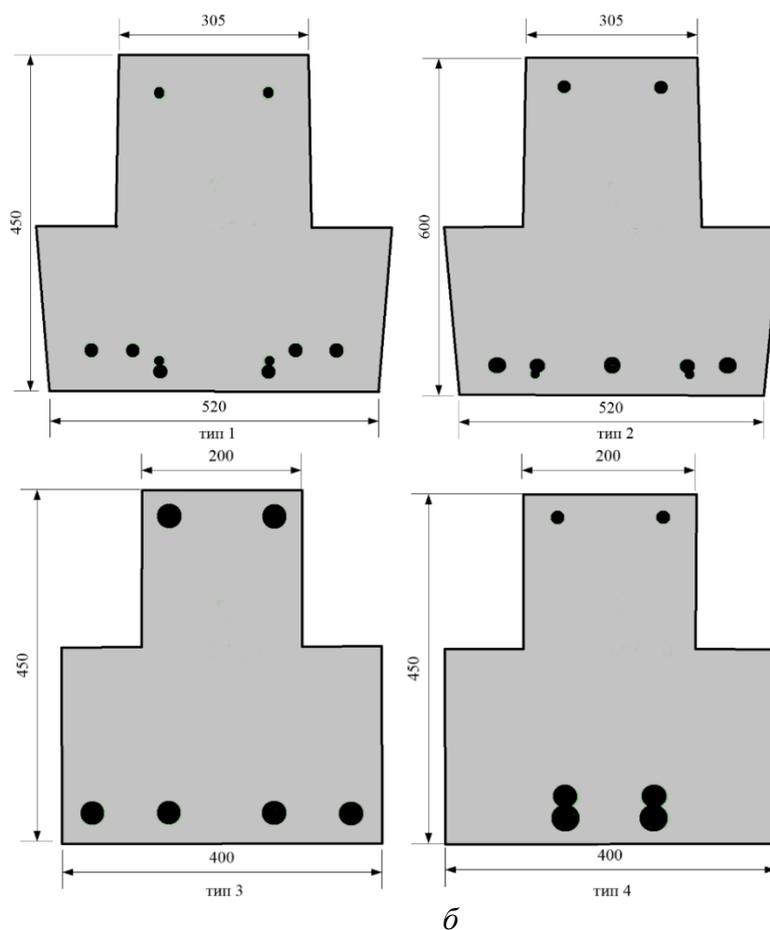


Рисунок 3. – Поперечные сечения рассматриваемых типов железобетонных балок (а) и ригелей (б)

Теплофизические зависимости для теплопроводности и теплоемкости бетонов на известняковом и гранитном заполнителе и для армирования принимались согласно нормативным документам СП 468.1325800.2019⁴ и СТО 36554501-006–2006⁵.

Результаты численного моделирования рассматриваемых железобетонных конструкций использовались при решении статической задачи. Для решения прочностной задачи огнестойкости железобетонных балок использовался зонный подход, изложенный в европейском стандарте EN 1992-1-2⁶.

Для решения прочностной задачи огнестойкости железобетонных ригелей использовался подход, изложенный в своде правил СП 468.1325800.2019⁷.

Результаты проведенных исследований. Агрессивными по отношению к железобетону могут быть как твердые вещества, так и жидкости, и газы. Воздействующие на материал среды приводят к возникновению и накоплению множества дефектов в структуре материала, основными из которых для ЖБК являются коррозия армирования, отслоение защитного слоя, снижение прочности бетона. Всего же согласно ГОСТ 31937–2011⁸ выделяют 16 видов дефектов и повреждений ЖБК. Их появление приводит к ухудшению

⁴ Бетонные и железобетонные конструкции. Правила обеспечения огнестойкости и огнесохранности: СП 468.1325800.2019. – Введ. 11.06.20. – М.: Стандартинформ, 2020. – 86 с.

⁵ Правила по обеспечению огнестойкости и огнесохранности железобетонных конструкций: СТО 36554501-006–2006. – Введ. 01.11.06. – М.: ФГУП «НИЦ Строительство», 2006. – 79 с.

⁶ Design of concrete structures – Part 1-2: General rules – Structural fire design: EN 1992-1-2. Eurocode 2 / European committee for Standardisation. – Brussels, 2004. – 97 p.

⁷ См. сноску 4.

⁸ Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния: ГОСТ 31937–2011. – Введ. 01.01.14. – М.: Стандартинформ, 2014. – 55 с.

эксплуатационных характеристик железобетонных конструкций, главным образом несущей способности. Растущий возраст зданий напрямую отражается на степени повреждений конструкций. Даже в слабоагрессивных средах длительные сроки эксплуатации зданий приводят к значительному снижению изначальных эксплуатационных характеристик конструкций [8].

Для классификации ЖБК в зависимости от доли снижения несущей способности существует понятие «категория технического состояния»^{9, 10}. Различают множество градаций данного параметра, представленных, например, в СП 13–102–2003 – 5 категорий (от исправного до аварийного состояния), и в ГОСТ 31937–2011 – 4 категории (от нормативного технического до аварийного состояния). Так как существующие классификации разрабатывались с целью определения снижения только несущей способности конструкций в процессе эксплуатации, для оценки пределов огнестойкости разработана специальная классификация [9]. Нужно отметить, что утрата огнестойкости конструкций вследствие износа рассматривается как один из видов техногенных комбинированных особых воздействий (СНЕ) с участием пожара [9–11]. В данном случае рассматривается комбинация особых воздействий на конструкции в последовательности «эксплуатационный износ – пожар».

Предел огнестойкости железобетонных конструкций напрямую зависит от их несущей способности, следовательно, изменение категории технического состояния в условиях эксплуатации должно приводить к снижению пределов огнестойкости. Проверка этой гипотезы проведена авторами на разных типах железобетонных ригелей и балок на основе метода компьютерного моделирования с применением ВК Ansys. Для воспроизведения в конструкции каждой из исследуемых категорий ее технического состояния в модели конструкции задавались соответствующие износу значения таких параметров, как: сечение конструкций, прочность бетона, диаметр арматуры и величина защитного слоя бетона в соответствии с нормативными документами^{11, 12}. Процент снижения несущей способности ЖБК по категориям принимался согласно классификации, представленной в комплексной методике МДС 13–20.2004¹³ и работе [12]: для I – до 5 %, II – до 15 %, III – до 25 %, IV – до 50 %, V – свыше 50 % (несущая способность не рассчитывалась из-за непригодности таких конструкций к эксплуатации). Всего было рассмотрено 4 марки ригелей^{14, 15}: РДП4.56-50АтV – тип 1, РДП6.86-50АтV – тип 2, РВ2-72-56 – тип 3, Р2-75-57 – тип 4 и 5 типов балок [13]. При этом для каждого типа ригеля предел огнестойкости определялся для четырех разных нагрузок. Для исследования предела огнестойкости ригелей при прочих равных условиях нагрузки выбраны таким образом, чтобы верхняя граница диапазона приводила к разрушению ригеля при любой категории технического состояния при пожаре за время не более 180 минут, а нижняя граница – чтобы нагрузки не превышали несущую способность ригеля на IV категории технического состояния до воздействия пожара. Таким образом нагрузки составили следующие значения: 110 % от несущей способности для

⁹ См. сноску 1.

¹⁰ Правила обследования несущих строительных конструкций зданий и сооружений: СП 13–102–2003. – Введ. 21.08.03. – М.: ФГУП ЦПП, 2004. – 27 с.

¹¹ Пособие по обследованию строительных конструкций. – М.: ОАО «ЦНИИПромзданий», 2004. – 234 с.

¹² Рекомендации по оценке надежности строительных конструкций зданий и сооружений по внешним признакам. – М.: ОАО «ЦНИИПромзданий», 2001. – 100 с.

¹³ Комплексная методика по обследованию и энергоаудиту реконструируемых зданий. Пособие по проектированию: МДС 13–20.2004. – Введ. 14.04.04. – М.: ОАО «ЦНИИПромзданий», ФГУП ЦПП, 2004. – 164 с.

¹⁴ Сборные элементы зданий каркасной конструкции. Ригели: типовые конструкции и детали зданий и сооружений. Серия ИИ–04–3. – Утв. 28.01.72. – М.: ЦНИИЭП торгово-бытовых зданий и туристских комплексов, НИИЖБ Госстроя СССР, 1972.

¹⁵ Конструкции каркаса межвидового применения для многоэтажных общественных зданий, производственных и вспомогательных зданий промышленных предприятий: типовые строительные конструкции, изделия и узлы. Серия 1.020–1/87. – Утв. 12.12.90. – М.: ЦНИИЭП торгово-бытовых зданий и туристских комплексов, ЦНИИПромзданий, 1990.

ригеля 0-й категории на 180-й минуте пожара (q_1), 120 % от несущей способности для ригеля IV категории на 40-й минуте (для ригеля тип 4 на 60-й минуте) (q_2), 75 % от нормативной нагрузки (q_3), установленной в сериях для каждого типа ригелей и для произвольной нагрузки (q_4), (для ригеля тип 1 – 49 кН/м, для ригеля тип 2 – 42 кН/м, для ригеля тип 3 – 60 кН/м, для ригеля тип 4 – 56,5 кН/м). Параметры армирования ригелей приведены в соответствующих типовых сериях. Параметры армирования балок принимались согласно работе [13].

Результаты исследования несущей способности ригелей при пожаре в зависимости от категории технического состояния представлены на рисунках 4–7, железобетонных балок на рисунках 8–12. Полученные результаты показывают, что, действительно, изменение категории технического состояния приводит к снижению потенциальной несущей способности ЖБК при пожаре, следовательно, следствием износа и коррозии железобетонных конструкций является утрата их огнестойкости.

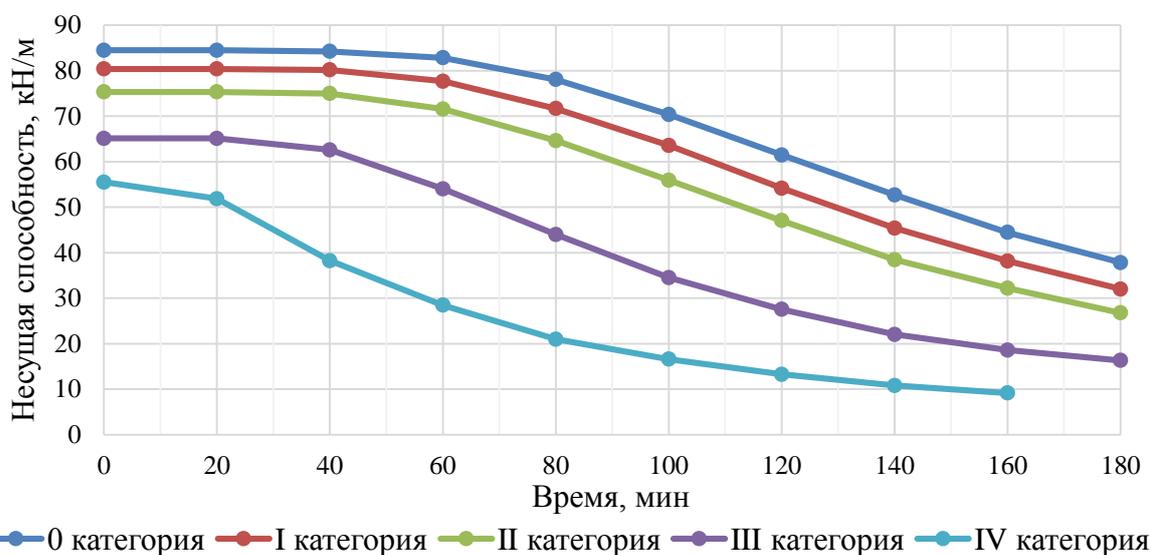


Рисунок 4. – Несущая способность ригеля РДП4.56-50АтV при пожаре в зависимости от категории технического состояния согласно классификации [12]

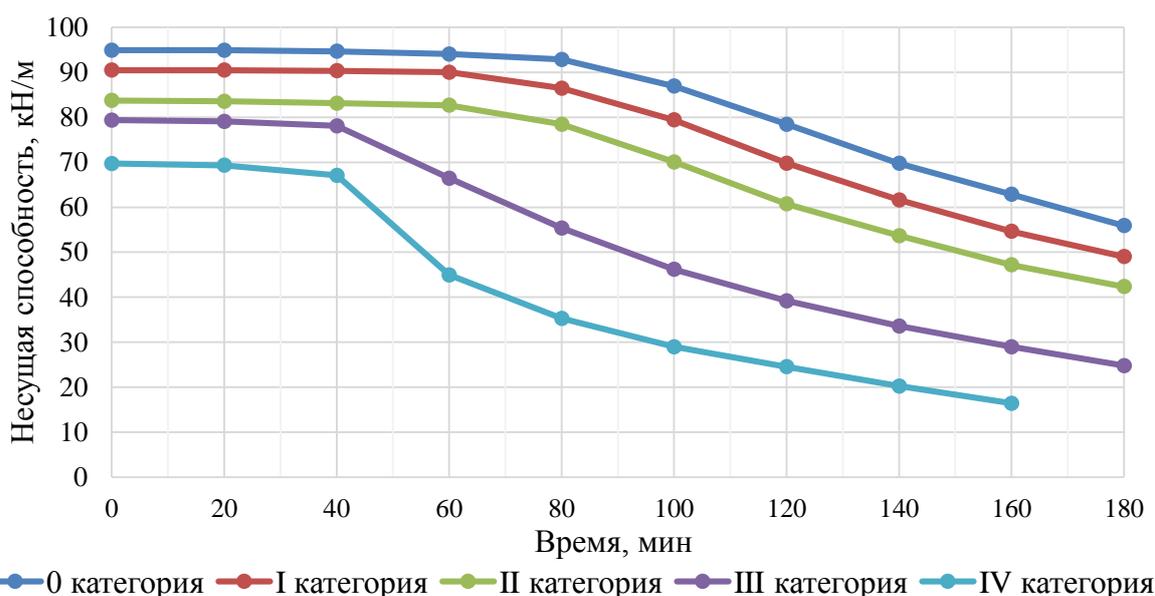


Рисунок 5. – Несущая способность ригеля Р2-72-57 при пожаре в зависимости от категории технического состояния согласно классификации [12]

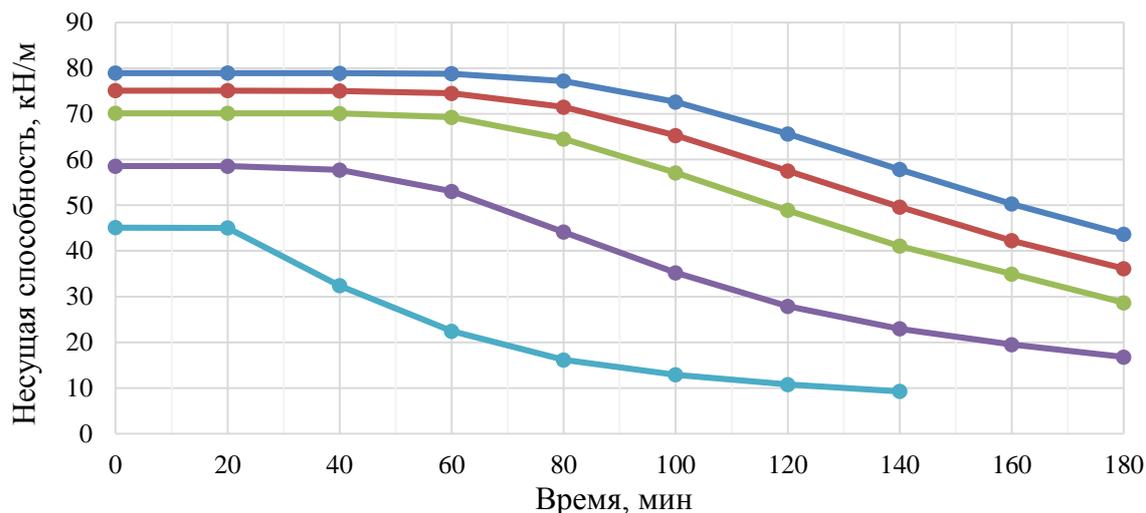


Рисунок 6. – Несущая способность ригеля РДП6.86-50АтV при пожаре в зависимости от категории технического состояния согласно классификации [12]

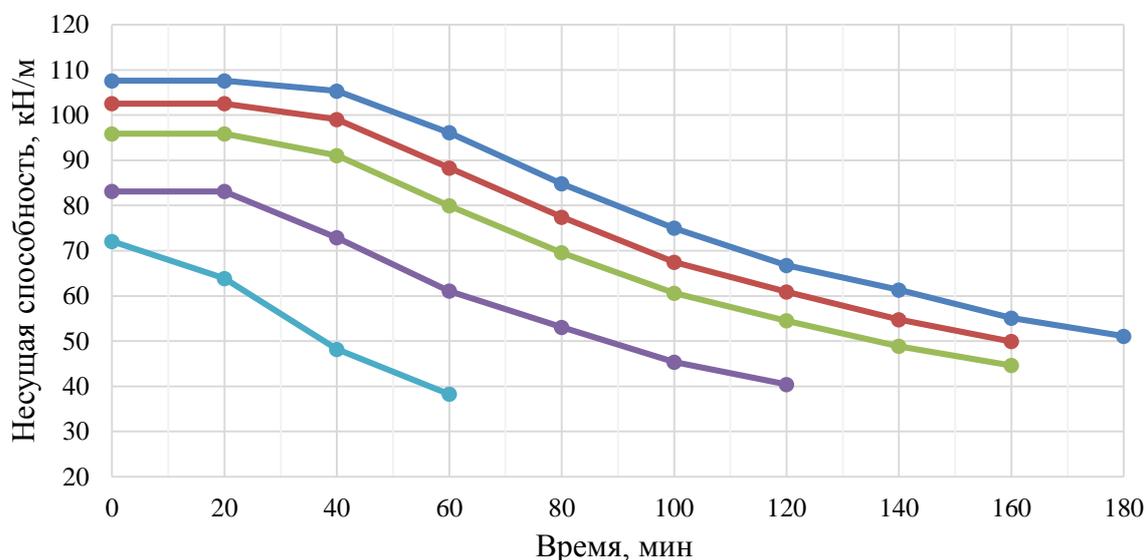


Рисунок 7. – Несущая способность ригеля RB2-72-56 при пожаре в зависимости от категории технического состояния согласно классификации [12]

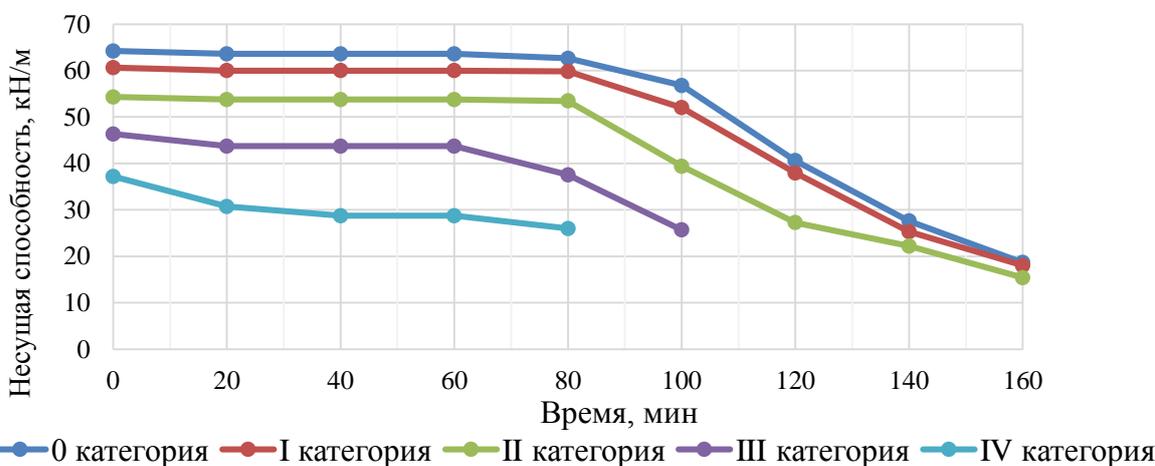


Рисунок 8. – Несущая способность балки (тип 1) при пожаре в зависимости от категории технического состояния согласно классификации [12]

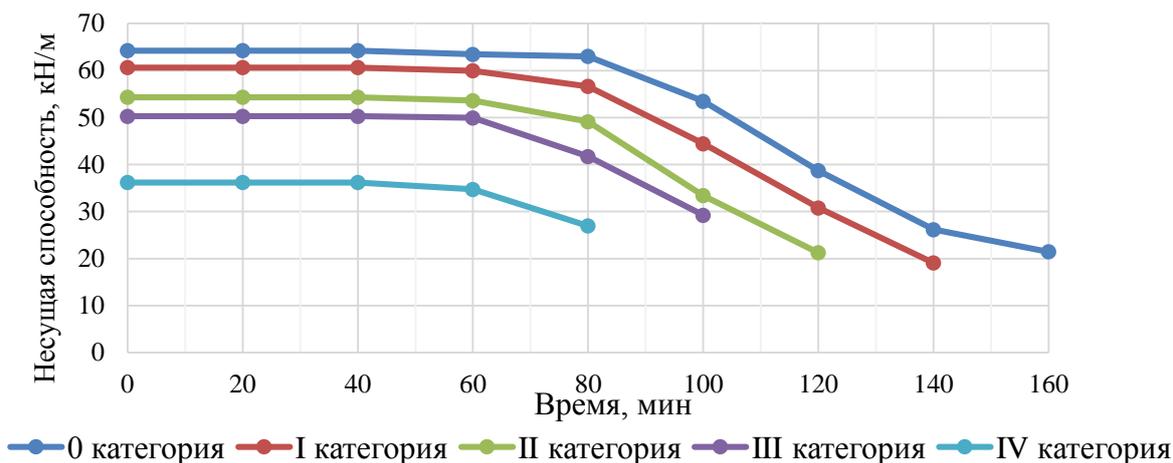


Рисунок 9. – Несущая способность балки (тип 2) при пожаре в зависимости от категории технического состояния согласно классификации [12]

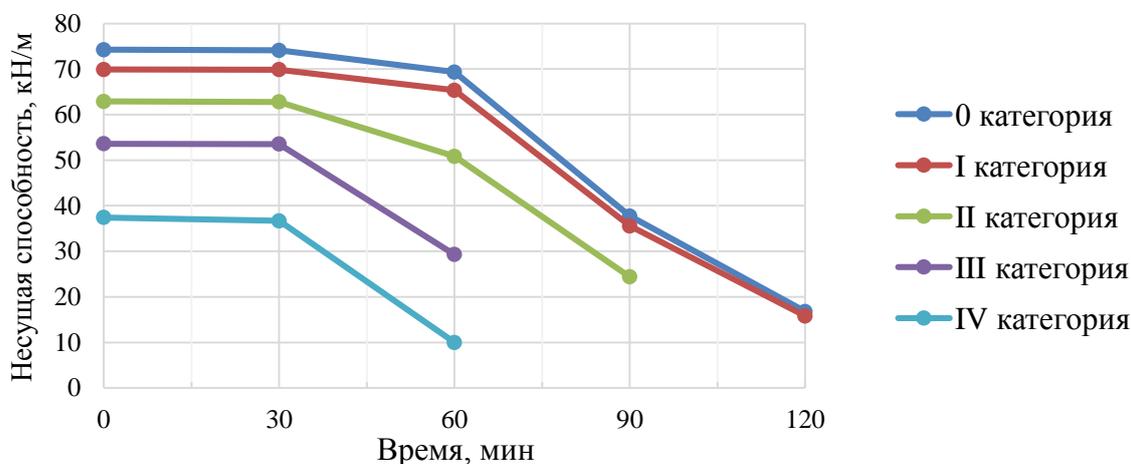


Рисунок 10. – Несущая способность балки (тип 3) при пожаре в зависимости от категории технического состояния согласно классификации [12]

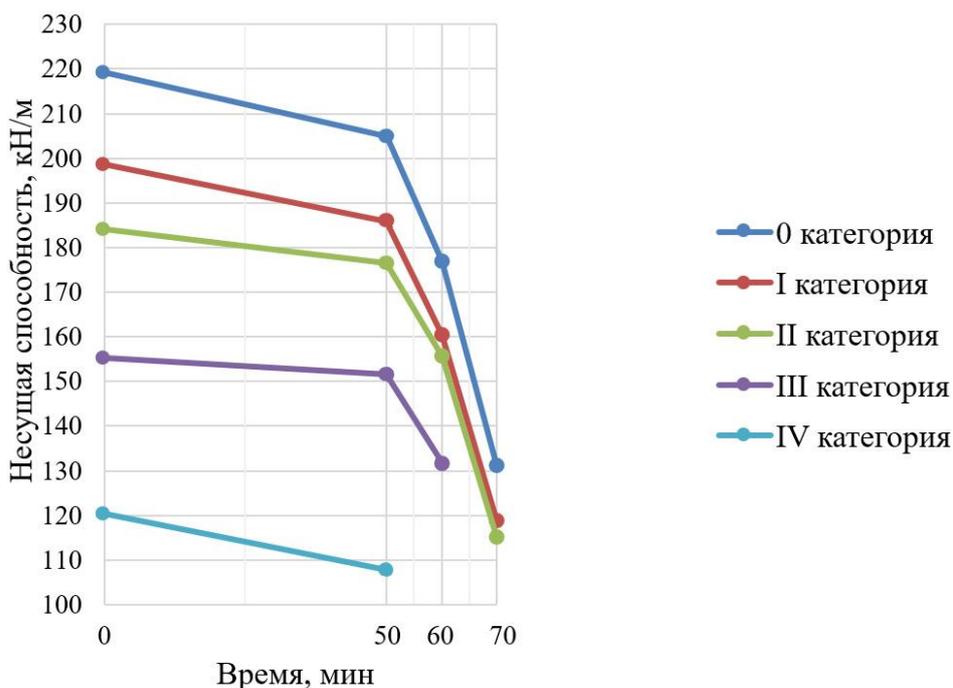


Рисунок 11. – Несущая способность балки (тип 4) при пожаре в зависимости от категории технического состояния согласно классификации [12]

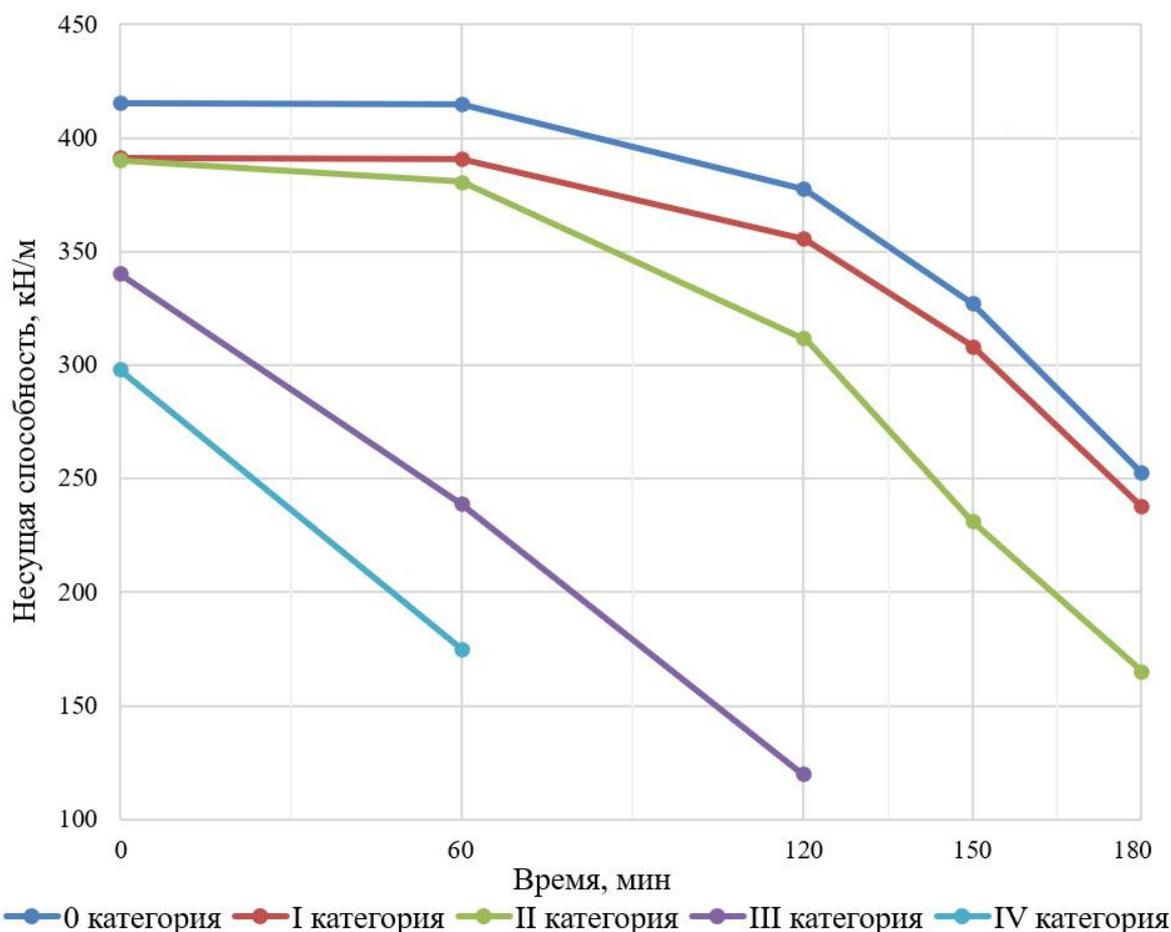


Рисунок 12. – Несущая способность балки (тип 5) при пожаре в зависимости от категории технического состояния согласно классификации [12]

Результаты проводимых вычислений по определению значений эксплуатационных пределов огнестойкости выбранных типов железобетонных балок в зависимости от уровня утраты их несущей способности представлены в таблице 1, для ригелей в таблице 2.

Таблица 1. – Результаты оценки эксплуатационных пределов огнестойкости железобетонных балок

Тип железобетонной балки	Значение эксплуатационного предела огнестойкости различных типов железобетонных балок (мин) в зависимости от уровня утраты их несущей способности в условиях эксплуатации (%)					
	0 %	5 %	15 %	25 %	50 %	> 50 %
Тип 1	146	132	117	80	34	–
Тип 2	141	128	112	76	30	–
Тип 3	92	88	73	42	22	–
Тип 4	68	64	55	35	14	–
Тип 5	193	182	154	90	46	–

Таблица 2. – Результаты оценки эксплуатационных пределов огнестойкости железобетонных ригелей

Тип (нагрузка) железобетонного ригеля	Значение эксплуатационного предела огнестойкости различных типов железобетонных ригелей (мин) в зависимости от уровня утраты их несущей способности в условиях эксплуатации (%)					
	0 %	5 %	15 %	25 %	50 %	> 50 %
Тип 1 (q_1)	168	150	133	85	35	–
Тип 1 (q_2)	156	139	123	76	29	–
Тип 1 (q_3)	183	164	145	95	43	–
Тип 1 (q_4)	149	132	116	70	24	–

Продолжение таблицы 2

Тип (нагрузка) железобетонного ригеля	Значение эксплуатационного предела огнестойкости различных типов железобетонных ригелей (мин) в зависимости от уровня утраты их несущей способности в условиях эксплуатации (%)					
	0 %	5 %	15 %	25 %	50 %	> 50 %
Тип 2 (q_1)	167	144	122	71	–	–
Тип 2 (q_2)	194	171	147	92	30	–
Тип 2 (q_3)	201	178	154	97	33	–
Тип 2 (q_4)	185	161	138	85	25	–
Тип 3 (q_1)	156	135	114	72	30	–
Тип 3 (q_2)	151	130	109	68	28	–
Тип 3 (q_3)	171	147	125	80	34	–
Тип 3 (q_4)	144	123	102	63	25	–
Тип 4 (q_1)	164	140	118	69	45	–
Тип 4 (q_2)	186	163	139	83	52	–
Тип 4 (q_3)	188	166	142	85	53	–
Тип 4 (q_4)	178	155	132	78	50	–

Рассмотрение полученных данных вычислительных экспериментов свидетельствует о том, что эксплуатационный предел огнестойкости для всех типов рассматриваемых железобетонных балок и ригелей изменяется в зависимости от коррозии и износа в условиях эксплуатации и весьма существенно зависит от утраты их несущей способности в условиях эксплуатации.

Для определения доли снижения пределов огнестойкости железобетонных конструкций при пожаре в зависимости от категории технического состояния используется понятие «коэффициент утраты огнестойкости $C_{f,r}$ » [14] – отношение эксплуатационного предела огнестойкости конструкции к его проектной величине:

$$C_{f,r} = \tau_{f,r}^{\text{экспл}} / \tau_{f,r}^{\text{проект}}, \quad (2)$$

где $\tau_{f,r}^{\text{экспл}}$ – эксплуатационный предел огнестойкости конструкции (в зависимости от категории технического состояния в процессе эксплуатации);

$\tau_{f,r}^{\text{проект}}$ – предел огнестойкости строительной конструкции, полученный на основе стандартных испытаний до начала эксплуатации.

Коэффициент утраты огнестойкости может изменяться в пределах от 1 (новая конструкция) до 0 (полный износ). Полученные результаты были обработаны по приведенной выше формуле.

В ходе проведения вычислительных экспериментов были определены значения коэффициентов утраты огнестойкости рассмотренных типов железобетонных балок при различных уровнях утраты их несущей способности в условиях эксплуатации. Результаты расчетов представлены в таблице 3.

Впервые были получены усредненные значения изменения коэффициента утраты огнестойкости для различных марок железобетонных ригелей при разных нагрузках в зависимости от категории технического состояния (табл. 4).

Ригели и балки различной конструкции показывают схожий характер снижения пределов огнестойкости. Таким образом, уже при I категории технического состояния пределы огнестойкости составляют около 90 % от первоначальных значений, при II – около 75 %, при III – около 50 %, при IV – около 20 %.

Таблица 3. – Значения коэффициентов утраты огнестойкости рассматриваемых типов железобетонных балок в зависимости от уровня снижения несущей способности

Тип рассматриваемой конструкции	Коэффициент утраты огнестойкости $C_{f,r}$ различных типов железобетонных балок в зависимости от уровня утраты их несущей способности в условиях эксплуатации (%)					
	0 %	5 %	15 %	25 %	50 %	> 50 %
Тип 1	1	0,9	0,801	0,548	0,233	–
Тип 2	1	0,908	0,794	0,539	0,213	–
Тип 3	1	0,956	0,793	0,457	0,239	–
Тип 4	1	0,941	0,809	0,515	0,206	–
Тип 5	1	0,943	0,798	0,466	0,238	–
Усредненное значение $C_{f,r}$	1	0,9296	0,799	0,505	0,2258	–

Таблица 4. – Усредненные значения коэффициентов утраты огнестойкости рассматриваемых типов железобетонных ригелей при различных нагрузках в зависимости от уровня снижения несущей способности

Тип рассматриваемой конструкции	Усредненный (по q_i) коэффициент утраты огнестойкости $C_{f,r}$ различных типов железобетонных ригелей при различных нагрузках в зависимости от уровня утраты их несущей способности в условиях эксплуатации (%)					
	0 %	5 %	15 %	25 %	50 %	> 50 %
Тип 1	1	0,891	0,788	0,496	0,198	–
Тип 2	1	0,875	0,750	0,460	0,151	–
Тип 3	1	0,860	0,723	0,454	0,188	–
Тип 4	1	0,871	0,741	0,439	0,279	–
Усредненное значение $C_{f,r}$	1	0,874	0,750	0,462	0,204	–

Анализ данных, полученных в ходе исследования пределов огнестойкости железобетонных ригелей и балок в условиях эксплуатации, показал, что техническое состояние ЖБК является более значимым параметром при определении утраты огнестойкости по сравнению с конструктивными особенностями железобетонных элементов.

Полученные данные свидетельствуют об опасности недооценки пределов огнестойкости эксплуатируемых конструкций и существовании возможности преждевременного обрушения строительных конструкций при пожаре. Даже значительные пределы огнестойкости, предусмотренные проектом, на практике, учитывая длительный период эксплуатации, могут быть исчерпаны за считанные минуты.

Заключение

Основная опасность для зданий и сооружений при комбинированных особых воздействиях с участием пожара – это резкое уменьшение пределов огнестойкости объектов вплоть до их прогрессирующего обрушения. Одним из таких особых воздействий на конструкции до возникновения пожара является эксплуатационный износ.

Используемый в настоящее время подход по учету длительности и условий эксплуатации при оценке пределов огнестойкости ЖБК предполагает использование интегрального показателя – коэффициента утраты огнестойкости. Результаты сопоставления полученных коэффициентов утраты огнестойкости ригелей и балок подтверждают, что пределы огнестойкости железобетонных элементов зависят больше от технического состояния конструкции, чем от их конструктивных особенностей. Данный факт требует дальнейшего подтверждения на основе результатов исследования других видов железобетонных конструкций.

Необходимо отметить, что уже при снижении несущей способности в процессе эксплуатации на 25 % железобетонные конструкции теряют около 50 % своего первоначального значения предела огнестойкости. В условиях растущего возраста и износа строительного фонда проблема утраты огнестойкости железобетонных конструкций в этом аспекте приобретает все большую актуальность и подлежит дальнейшему тщательному изучению.

ЛИТЕРАТУРА

1. Развитие рынков ипотеки и жилищного строительства в 2000–2018 годах. – М.: ДОМ.РФ, 2019. – 52 с.
2. Строительство в России. 2020: сб. стат. / Росстат. – М., 2020. – 113 с.
3. Прохорова, Э.К. Влияние состояния основных фондов на развитие российской промышленности в условиях международных санкций / Э.К. Прохорова // Вестник международного института рынка. – 2019. – № 1. – С. 30–36. – EDN: ZBXKEX.
4. Пожары и пожарная безопасность в 2020 году: сб. стат. / П.В. Полехин, М.А. Чебуханов, А.А. Козлов, А.Г. Фирсов, В.И. Сибирко, В.С. Гончаренко, Т.А. Чечетина. – Под общ. ред. Д.М. Гордиенко. – М.: ВНИИПО, 2021. – 112 с.
5. Кудряшов, В.А. Результаты натурных огневых испытаний железобетонного монолитного перекрытия в составе экспериментального фрагмента каркасного здания / В.А. Кудряшов [и др.] // Вестник Университета гражданской защиты МЧС Беларуси. – 2021. – Т. 5, № 1. – С. 49–66. – DOI: 10.33408/2519-237X.2021.5-1.49. – EDN: EODTXX.
6. Полевода, И.И. Модельные огневые испытания железобетонных центрифугированных колонн с конструктивной огнезащитой / И.И. Полевода, С.М. Жамойдик, Д.С. Нехань // Вестник Университета гражданской защиты МЧС Беларуси. – 2021. – Т. 5. – №. 3. – С. 289–299. – DOI: 10.33408/2519-237X.2021.5-3.289. – EDN: HJXXED.
7. Кошмаров, Ю. А. Термодинамика и теплопередача в пожарном деле: учеб. для вузов МВД СССР / Ю.А. Кошмаров, М.П. Башкирцев. – М.: ВИПТШ, 1987. – 443 с.
8. Москвин, В.М. Коррозия бетона и железобетона. Методы их защиты / В.М. Москвин, Ф.М. Иванов, С.Н. Алексеев, Е.А. Гузеев. – М.: Стройиздат, 1980. – 536 с.
9. Ройтман, В.М. Особенности оценки стойкости зданий и сооружений из железобетонных конструкций при комбинированных особых воздействиях с участием пожара / В.М. Ройтман, Д.Н. Приступок // Пожаровзрывобезопасность. – 2010. – Т. 19. – № 7. – С. 29–38. – EDN: MUJTCR.
10. Ройтман, В.М. Возникновение и развитие теории стойкости конструкций и зданий при комбинированных особенных воздействиях с участием пожара / В.М. Ройтман, Д.Н. Приступок, В.В. Агафонова // Промышленное и гражданское строительство. – 2010. – № 10. – С. 7–10. – EDN: MVMUAT.
11. Ройтман, В.М. Особенности проектирования огнестойкости конструкций и зданий при комбинированных особых воздействиях с участием пожара / В.М. Ройтман // Пожаровзрывобезопасность. – 2013. – Т. 22. – №. 7. – С. 47–54. – EDN: RDHTTJ.
12. Ройтман, В.М. Метод оценки пределов огнестойкости железобетонных конструкций, с учетом их технического состояния в условиях эксплуатации / В.М. Ройтман, Д.Н. Приступок, В.Ю. Федоров // Ройтмановские чтения: сб. материалов 7-й науч.-практ. конф., Москва, 28 февр. 2019 г. – М.: Академия ГПС МЧС России, 2019. – С. 34–38. – EDN: UDGUCI.
13. Федоров, В.Ю. Огнестойкость железобетонных балок в зависимости от изменения их несущей способности в условиях эксплуатации / В.Ю. Федоров // Современные проблемы гражданской защиты. – 2019. – № 1 (30). – С. 30–35. – EDN: RGEDUA.
14. Ройтман, В.М. Инженерные решения по оценке огнестойкости проектируемых и реконструируемых зданий / В.М. Ройтман. – М.: Ассоциация «Пожарная безопасность и наука», 2001. – 382 с.

**Исследование утраты огнестойкости эксплуатируемых
железобетонных ригелей и балок**

**The study of the loss of fire resistance of the reinforced
concrete crossbars and beams in operation**

Приступюк Дмитрий Николаевич

кандидат технических наук

Академия Государственной противопожарной
службы МЧС России, учебно-научный
комплекс пожарной безопасности объектов
защиты, кафедра пожарной безопасности
в строительстве, начальник кафедры

Адрес: ул. Бориса Галушкина, 4,
129366, г. Москва, Россия

Email: zis.pbs@yandex.ru

Dmitriy N. Pristupyuk

PhD in Technical Sciences

Academy of State Fire Service of EMERCOM
of Russia, Educational and Scientific Complex
of Fire Safety of Objects Under Protection,
Chair of Fire Safety in Construction,
Head of the Chair

Address: Borisa Galushkina str., 4,
129366, Moscow, Russia

Email: zis.pbs@yandex.ru

Федоров Владимир Юрьевич

Академия Государственной противопожарной
службы МЧС России, учебно-научный
комплекс пожарной безопасности объектов
защиты, кафедра пожарной безопасности
в строительстве, преподаватель

Адрес: ул. Бориса Галушкина, 4,
129366, г. Москва, Россия

Email: v.fedorov2508@gmail.com

Vladimir Y. Fedorov

Academy of State Fire Service of EMERCOM
of Russia, Educational and Scientific Complex
of Fire Safety of Objects Under Protection,
Chair of Fire Safety in Construction,
Head of the Chair

Address: Borisa Galushkina str., 4,
129366, Moscow, Russia

Email: v.fedorov2508@gmail.com

Данилов Руслан Александрович

Академия Государственной противопожарной
службы МЧС России, факультет подготовки
научно-педагогических кадров, адъюнкт

Адрес: ул. Бориса Галушкина, 4,
129366, г. Москва, Россия

Email: ruslikdanilov@gmail.com

ORCID: 0000-0002-0276-5571

Ruslan A. Danilov

Academy of State Fire Service of EMERCOM
of Russia, Faculty of Training of Scientific
and Pedagogical Personnel, adjunct

Address: Borisa Galushkina str., 4,
129366, Moscow, Russia

Email: ruslikdanilov@gmail.com

ORCID: 0000-0002-0276-5571

THE STUDY OF THE LOSS OF FIRE RESISTANCE OF THE REINFORCED CONCRETE CROSSBARS AND BEAMS IN OPERATION

Pristupyuk D.N., Fedorov V.Y., Danilov R.A.

Purpose. The development of the theory of fire resistance of constructions, buildings and structures considering one of the directions of combined hazardous effects with the participation of fire – the assessment of fire resistance of reinforced concrete structures, having regard to the duration and conditions of their operation.

Methods. To determine the operational limits of fire resistance, an analytical method for solving a static problem, a finite element analysis method for solving a heat engineering problem of fire resistance were used. The results of fire tests are applied to confirm the reliability of the data obtained by the simulation method.

Findings. It has been found that already with a 25 % reduction in load-bearing capacity during use, reinforced concrete structures lose about 50 % of their original fire-resistance rating. It has been established that the dynamics of the loss of fire resistance of reinforced concrete crossbars and beams mainly depends on the category of technical condition, and not on their design parameters.

Application field of research. The presented research results of fire resistance were obtained for reinforced concrete structures in operation and can be used to predict the behavior of operating reinforced concrete structures in fire, as well as to develop models and improve standards in the field of designing fire resistance of reinforced concrete structures.

Keywords: fire resistance, reinforced concrete structures, coefficient of loss of fire resistance, corrosion, wear, reinforced concrete beams, reinforced concrete crossbars, combined hazardous effects.

(The date of submitting: July 12, 2022)

REFERENCES

1. *Razvitie rynkov ipoteki i zhilishchnogo stroitel'stva v 2000–2018 godakh [Market Development of mortgage and housing construction]*. Moscow: DOM.RF, 2019. 52 p. Available at: <https://дом.рф/upload/iblock/bad/badb70641c1cb561f2af6bc2e4a90074.pdf> (accessed: May 21, 2022). (rus)
2. *Stroitel'stvo v Rossii. 2020 [Construction in Russia 2020]: statistical compendium*. ROSSTAT. Moscow, 2020. 113 p. Available at: https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/tASKTSkO/Stroitelstvo_2020.pdf (accessed: May 21, 2022). (rus)
3. Prohorova E.K. Vliyanie sostoyaniya osnovnykh fondov na razvitie rossiyskoy promyshlennosti v usloviyakh mezhdunarodnykh sanktsiy [Impact of the fixed assets on the development of Russian industry in the context international sanctions]. *Vestnik mezhdunarodnogo instituta rynka*, 2019. No. 1. Pp. 30–36. (rus). – EDN: ZBXKEX.
4. Polekhin P.V., Chebukhanov M.A., Kozlov A.A., Firsov A.G., Sibirko V.I., Goncharenko V.S., Chechetina T.A. *Pozhary i pozharnaya bezopasnost' v 2020 godu [Fires and fire safety 2020]: statistical compendium; under the general editorship Gordienko D.M.* Moscow: VNIPO, 2021. 112 p. Available at: <https://mchs.fun/wp-content/uploads/2021/09/pozhary-i-pozharnaya-bezopasnost-v-2020-gordienko-vniipo.pdf> (accessed: May 21, 2022). (rus)
5. Kudryashov V.A., Zhamoydik S.M., Kurachenko I.Yu, Nguyen T.K. Rezul'taty naturnykh ognevykh ispytaniy zhelezobetonnoy monolitnoy perekrytiya v sostave eksperimental'nogo fragmenta karkasnoy zdaniya [Results of full-scale fire tests of the monolithic reinforced concrete slab as part of a fragment of a frame building]. *Journal of Civil Protection*, 2021. Vol. 5, No. 1. Pp. 49–66. (rus). DOI: 10.33408/2519-237X.2021.5-1.49. EDN: EODTXX.
6. Palevoda I.I., Zhamoydik S.M., Nekhan' D.S. Model'nye ognevye ispytaniya zhelezobetonnykh tsentrifugirovannykh kolonn s konstruktivnoy ognezashchitoy [Reinforced concrete centrifuged columns with structural fire protection model fire tests]. *Journal of Civil Protection*, 2021. Vol. 5, No. 3. Pp. 289–299. (rus). DOI: 10.33408/2519-237X.2021.5-3.289. EDN: HJXXED.
7. Koshmarov Yu.A. *Termodinamika i teploperedacha v pozharnom dele [Thermodynamics and heat transfer in fire fighting]: textbook for universities of the Ministry of Internal Affairs of the USSR.* Moscow: VIPTSh, 1987. 447 p. (rus)

8. Moskvina V.M., Ivanov F.M., Alekseev S.N., Guzeev E.A. Korroziya betona i zhelezobetona. Metody ikh zashchity [Corrosion of concrete and reinforced concrete. Methods for their protection]. Moscow: Stroyizdat, 1980. 536 p. (rus)
9. Roytman V.M., Pristupyuk D.N. Osobennosti otsenki stoykosti zdaniy i sooruzheniy iz zhelezobetonnnykh konstruktsiy pri kombinirovannykh osobykh vozdeystviyakh s uchastiem pozgara [Features of the estimation of buildings and constructions resistance from reinforced concrete designs at the combined hazardous effects with fire participation]. *Pozharovzryvobezopasnost*, 2010. Vol. 19, No. 7. Pp. 29–38. (rus). EDN: MUJTCR.
10. Roytman V.M., Pristupyuk D.N., Agafonova V.V. Vozniknovenie i razvitie teorii stoykosti konstruktsiy i zdaniy pri kombinirovannykh osobennykh vozdeystviyakh s uchastiem pozgara [Emergence and development of the theory of stability of structures and buildings at the combined special influences with participation of a fire]. *Industrial and Civil Engineering*, 2010. No. 10. Pp. 7–10. (rus). EDN: MVMUAT.
11. Roytman V.M. Osobennosti proektirovaniya ognestoykosti konstruktsiy i zdaniy pri kombinirovannykh osobykh vozdeystviyakh s uchastiem pozgara [Features of designing of constructions and buildings fire resistance in conditions of combined hazardous effects accompanied by fire]. *Pozharovzryvobezopasnost*, 2013. Vol. 2, No. 7. Pp. 47–54. (rus). EDN: RDHTTJ.
12. Roytman V.M., Pristupyuk D.N., Fedorov V.Yu. Metod otsenki predelov ognestoykosti zhelezobetonnnykh konstruktsiy, s uchetom ikh tekhnicheskogo sostoyaniya v usloviyakh ekspluatatsii [Method of assessment of fire resistance limits of reinforced concrete structures considering their technical conditions of use]. Proc. 7th scientific-practical conf. «Roytmanovskie chteniya», Moscow, February 28, 2019. Moscow: Academy of State Fire Service of EMERCOM of Russia, 2019. Pp. 34–38. (rus). EDN: UDGUCI.
13. Fedorov V.Yu. Ognestoykost' zhelezobetonnnykh balok v zavisimosti ot izmeneniya ikh nesushchey sposobnosti v usloviyakh ekspluatatsii [Fire resistance of reinforced concrete beams depending on the change of their bearing capacity under operating conditions]. *Sovremennyye problemy grazhdanskoy zashchity*, 2019. No. 1 (30). Pp. 30–35. (rus). EDN: RGEDUA.
14. Roytman V.M. Inzhenernye resheniya po otsenke ognestoykosti proektiruemykh i rekonstruirovemykh zdaniy [Engineering solutions of assessment of fire resistance of designed and reconstructed buildings]. Moscow: Association «Fire Safety and Science», 2001. 382 p. (rus)

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ОПТИЧЕСКИХ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРИБОРОВ И УСТРОЙСТВ ВО ВРЕМЯ ИСПЫТАНИЙ ДЫМОВЫХ ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННЫХ ТОЧЕЧНЫХ ПОЖАРНЫХ ИЗВЕЩАТЕЛЕЙ

Клочихин И.О., Васильев М.А., Танклевский Л.Т.

Цель. Оценка чувствительности приборов, используемых и предлагаемых к использованию при проведении испытаний извещателей пожарных дымовых оптических точечных к дымам, образующимся от различных источников.

Методы. Изучение источников информации, действующих норм и методики измерения чувствительности извещателей пожарных дымовых, разработка специализированного испытательного стенда, проведение исследований на специализированном стенде и анализ полученных результатов.

Результаты. Приведены результаты исследований характеристик воздушной среды при образовании дыма во время тления со свечением хлопка, тления древесины, а также от тестовых аэрозолей.

Область применения исследований. Испытательные лаборатории заводов изготовителей извещателей пожарных дымовых и аккредитованные сертификационные центры.

Ключевые слова: пожарный извещатель, методы испытаний, контрольная ионизационная камера, счетчик частиц, оптическая плотность, характеристики воздушной среды.

(Поступила в редакцию 15 июля 2022 г.)

Введение

Одним из самых распространенных типов пожарных извещателей является извещатель пожарный дымовой оптико-электронный точечный. При появлении взвешенных частиц дыма в среде изменяются оптические свойства. Точечный дымовой извещатель фиксирует рассеиваемый световой поток, рассеиваемый частицами дыма, и при превышении заданного уровня формирует сигнал «Пожар». Для оценки среды используется показатель ослабления светового луча продуктами горения относительно прозрачного воздуха. Измерения проводятся на базе 1 метр. Таким образом, чувствительность пожарных извещателей характеризуется величиной, имеющей размерность дБ/м [1].

ГОСТ Р 53325–2012¹ распространяется на технические средства пожарной и охранно-пожарной автоматики и устанавливает общие технические требования и методы их испытаний. Исторически его предшественник ГОСТ Р 53325–2009² был введен взамен нескольких стандартов, содержащих сведения об общих технических условиях для радиоизотопных извещателей, огневых испытаниях извещателей, а также общих технических требованиях и методах испытаний приборов приемно-контрольных и управления пожарных. Структура и содержание ГОСТ Р 53325–2012 основаны на положениях европейских региональных стандартов серии EN 54³ «Системы обнаружения пожара и пожарной сигнализации». Однако с 01.07.2023 для проведения подтверждения соответствия продукции

¹ Техника пожарная. Технические средства пожарной автоматики. Общие технические требования и методы испытаний: ГОСТ Р 53325–2012. – Взамен ГОСТ 53325–2009; введ. РФ 22.11.12. – М.: Стандартинформ, 2014. – 123 с.

² Техника пожарная. Технические средства пожарной автоматики. Общие технические требования. Методы испытаний: ГОСТ Р 53325–2009. – Взамен ГОСТ 22522–91 (на территории Российской Федерации), ГОСТ Р 50898–96, ГОСТ Р 51089–97; введ. РФ 18.02.09. – М.: Стандартинформ, 2014. – 80 с.

³ Fire detection and fire alarm systems – Part 7: Smoke detectors – Point smoke detectors that operate using scattered light, transmitted light or ionization: EN 54-7:2018 [Electronic resource] // Information system. Product regulation. – Mode of access: <https://www.nfnorm.cz/en/ehn/6143>. – Date of access: 13.01.2022.

(пожарных извещателей) требованиям ТР ЕАЭС 043/2017⁴ будет применяться новый стандарт – ГОСТ 34698–2020 «Техника пожарная. Извещатели пожарные. Общие технические требования. Методы испытаний»⁵.

Испытания по показателям назначения извещателей пожарных дымовых оптико-электронных точечных (далее – ИПОТ) проводят в стенде «Дымовой канал».

Измерение чувствительности извещателей осуществляется с помощью лазерного измерителя оптической плотности дыма (ИОПД), фиксирующего ослабление светового потока при задымлении среды.

Для обеспечения повторяемости испытаний в ГОСТ Р 53325–2012⁶, ГОСТ 34698–2020 к материалам для тестовых очагов предъявлен ряд требований по составу, размерам, влажности и т.д. Приборное обеспечение, методики и условия проведения испытаний также указаны в приведенных стандартах. Огневые испытания, наиболее затратные и сложные, проводятся согласно приложению А к стандарту.

Помимо измерения удельной оптической плотности дыма с помощью ИОПД при проведении огневых испытаний обеспечивается контроль концентрации продуктов горения с применением контрольной ионизационной камеры (КИК), описание и принцип действия которой даны в приложении к ГОСТ Р 53325–2012.

Следует отметить, что показания, регистрируемые ИОПД с помощью тестовых очагов пожара, более объективно отражают способность извещателей обнаруживать дым. Тем не менее в паспортах на дымовые пожарные извещатели указывается значение чувствительности, измеряемое в установке «Дымовой канал», описание которой дано в приложении Д к стандарту.

Показания массовой концентрации, получаемые с помощью КИК, не в полной мере способны охарактеризовать процессы, протекающие при том или ином тестовом пожаре. Это связано с тем, что массовая концентрация дыма как величина способна указать лишь на общую долю массы всех частиц дыма вне зависимости от их размера.

В процессе выделения аэрозоля при нагреве материалов счетная и весовая концентрации частиц изменяются. Хотя имеют место и колебания фоновых концентраций, они незначительны и наиболее выражены для фракции частиц со средним диаметром более 0,3 мкм [2].

При термическом окислении с последующей деструкцией полимеров 90 % частиц имеют размеры от 0,01 до 0,1 мкм при температурах, не достигающих температуры самовоспламенения материалов. Оптические извещатели могут регистрировать появление частиц со средним диаметром не менее 0,1 мкм [3].

Критически важным является при огневых испытаниях проверять срабатывание извещателей не только при конкретной величине оптической плотности среды, но и при конкретном количестве частиц того или иного размера. Только в этом случае можно достоверно говорить, что извещатель сработал из-за воздействия, соответствующего стандартному типу дыма. Оптическая система одного и того же точечного извещателя будет по-разному реагировать на частицы разных размеров. Это связано с неравномерностью чувствительности нефелометрического способа обнаружения частиц. При этом отмечается снижение чувствительности к частицам со средним размером менее 0,2 мкм [4].

⁴ Технический регламент Евразийского экономического союза «О требованиях к средствам обеспечения пожарной безопасности и пожаротушения»: ТР ЕАЭС 043/2017 [Электронный ресурс]. – Принят Решением Совета Евразийской экономической комиссии от 23 июня 2017 г. № 40 // Центр сертификации продукции в Москве – Агентство РСТ. – Режим доступа: <https://www.rctest.ru/sertifikaciya-produkcii/tekhnicheskie-reglamenty/tr-eaes-043-2017/>. – Дата доступа: 13.01.2022.

⁵ Техника пожарная. Извещатели пожарные. Общие технические требования. Методы испытаний: ГОСТ 34698–2020. – Принят Межгосударственным советом по стандартизации, метрологии и сертификации (протокол от 30 ноября 2020 г. № 135-П); введ. 07.01.23. – М.: Стандартинформ, 2021. – 126 с.

⁶ См. сноску 1.

Определено, что характеристика рассеяния света частицами дыма играет важную роль для разработки фотоэлектрической технологии обнаружения дыма. Несферические свойства частиц дыма играют важную роль в их характеристике светорассеяния. Также сделан вывод, что при анализе изменений оптических свойств среды при появлении дыма его частицы следует рассматривать как эллипсоиды вращения [5]. Другие исследования также указывают на несферичность частиц, в том числе аэрозолей, возникающих при горении органических веществ [6].

Ввиду того что характеристики горючей нагрузки, используемой для тестовых очагов пожара, за время хранения или в зависимости от полученной партии материалов могут изменяться, при испытаниях их необходимо контролировать, для того чтобы идентифицировать условия как стандартные или не выходящие за установленные рамки.

Выполнение требований ГОСТ Р 53325–2012 по соблюдению соотношения удельной оптической плотности и концентрации продуктов горения является условием обязательным, но ИОПД не в полной мере отражает параметры среды, т.к. применяемый метод не способен характеризовать фракционный состав дыма с учетом размера его частиц.

Измеритель концентрации (согласно ГОСТ Р 53325–2012) не является серийно выпускаемым прибором [5]. Прибор в виде готового решения для целей испытаний извещателей на данный момент производится, но не на территории Евразийского экономического союза. Наличие в нем источника ионизирующего излучения, а именно изотопа америция ^{241}Am , влечет большую стоимость готового к реализации продукта. Подобные приборы подлежат периодическим поверкам, также стоящим довольно дорого. При этом организаций, аккредитованных для проведения соответствующих поверок, на рынке мало. Достоверно известно о двух аккредитованных испытательных центрах, оснащенных КИК на территории Российской Федерации: ФГБУ ВНИИПО МЧС России и СПб УГПС МЧС России.

С учетом вышеизложенного рациональным будет проведение исследования с целью определения требований к прибору, способному заменить КИК и, соответственно, усовершенствовать методы испытаний дымовых оптико-электронных точечных пожарных извещателей.

Основная часть

Методы исследования. Все экспериментальные исследования, отраженные в данной работе, проводились на стенде «Дымовой канал», изначально подробно описанном в приложении Д к ГОСТ Р 53325–2012. Однако конструкция и оснащение были изменены.

Все регистрируемые показания фиксировались с помощью автоматизированного рабочего места и приборов, перечисленных далее.

Измеритель оптической плотности ИОПД-2 использовался для измерения значения удельной оптической плотности дыма m по ГОСТ Р 53325–2012. Принцип действия основан на измерении отношения напряжений, пропорциональных потокам излучения, попадающих на блок фотоприемника при отсутствии дыма и в задымленной среде. Длина зоны измерения оптической плотности среды от 0,4 до 10,0 м. Диапазон измерения оптической плотности среды в диапазоне от 0,00 до 3,00 дБ.

Контрольный ИПДОТ (далее – КИПДОТ) представляет собой прибор на базе извещателя ИП-212-3СУ с аналоговым выходом. Откалиброванный КИПДОТ выполняет роль нефелометра, адаптированного для оценки параметров среды, контролируемых дымовыми пожарными извещателями точечными.

Контрольный извещатель пожарный дымовой ионизационный (далее – КИПДИ) является измененным извещателем РИД-6М с аналоговым выходом и возможностью принудительной аспирации. Прибор позволяет оценить массовую концентрацию продуктов горения по изменению ионного тока.

Счетчик пылевых частиц СЕМ DT-9880М, замеряющий количество частиц каждые 11 секунд в каналах 0,3; 0,5; 1; 2,5; 5 и 10 мкм с производительностью 2,83 л/мин, –

устройство для дискретного счета отдельных частиц в зависимости от их размера по эквивалентному оптическому диаметру. Прибор позволяет оценить массовую концентрацию продуктов горения с использованием принципа рассеяния света.

Данная установка позволяет комплексно изучить параметры исследуемых дымовых аэрозолей и оценить их влияние на ИПДОТ и разработать необходимые методики испытаний в рамках научно-исследовательской работы «Разработка методик проверки работоспособности АПС» в СПб УГПС МЧС России.

Эксперименты проводились следующим образом.

Перед началом каждого опыта стенд «Дымовой канал» проветривался до достижения концентрации частиц, соответствующей незадымленной среде вне аэродинамической трубы, но не менее 10 мин. После этого инициировалась подготовка к опыту.

С момента запуска процесса эмиссии дыма начинался отсчет времени. При этом с самого начала на автоматизированное рабочее место поступала и регистрировалась информация о замерах со всех приборов, кроме счетчика частиц, информация с которого обрабатывалась вручную. Это связано с тем, что прибор СЕМ DT-9880M регистрирует результаты замеров параметров воздушной среды на внутреннюю память. Счетчик частиц каждые 10–12 с генерировал во внутренней памяти текстовый файл с зафиксированными параметрами среды.

В качестве дымообразующих материалов использовались 4 хлопковых фитиля длиной 15 см и весом примерно 7 г; тестовые аэрозоли Detectortesters, используемые для тестирования пожарных извещателей по месту их установки путем распыления содержимого баллона; древесина хвойных пород.

Проведение исследований с использованием дымообразующих материалов, соответствующих тестовым очагам пожара ТП-4 (горение полимерных материалов) и ТП-5 (горение легковоспламеняющейся жидкости с выделением дыма)⁷, в экспериментальной установке в том виде, в котором она была использована, не представлялось возможным ввиду особенностей конструкции стенда.

Все опыты продолжались в течение 8–12 мин. Хлопковые фитили нагревались до температуры, превышающей температуру тления так, чтобы процесс продолжался до того момента, когда фитили истлеют до основания крепежа. Тестовые аэрозоли применялись согласно алгоритму, описанному в соответствующих инструкциях на протяжении первых трех минут эксперимента. Брусочки древесины размерами (20×30×50) мм располагались на заранее нагретой до температуры 350 °С электрической плите и подогревались на протяжении всего опыта.

Результаты исследования и их обсуждение. Всего было проведено 22 эксперимента: 11 из серии экспериментов с хлопковым фитилем, 7 с тестовыми аэрозолями, а также 4 с древесиной хвойных пород. В итоге были получены данные, описывающие изменения со временем концентраций частиц средних диаметров 0,3; 0,5; 1; 2,5; 5 и 10 мкм, удельной оптической плотности среды, напряжения КИПДИ и показаний ИПДОТ для случаев с дымообразованием от хлопковых фитилей при их тлении со свечением, при тлении древесины, при эмиссиях тестовых аэрозолей. Далее будут приводиться данные по одному из каждой группы экспериментов с разными дымообразующими материалами.

В качестве примера ниже представлены графики с результатами измерений количества частиц разных размеров по результатам одного опыта при тлении со свечением хлопка (рис. 1), тлении древесины (рис. 2) и распылении тестового аэрозоля (рис. 3).

По результатам проведенных экспериментов стало ясно, что дым от разных материалов существенно различается по количеству частиц разных размеров и их распределению.

⁷ См. сноску 5.

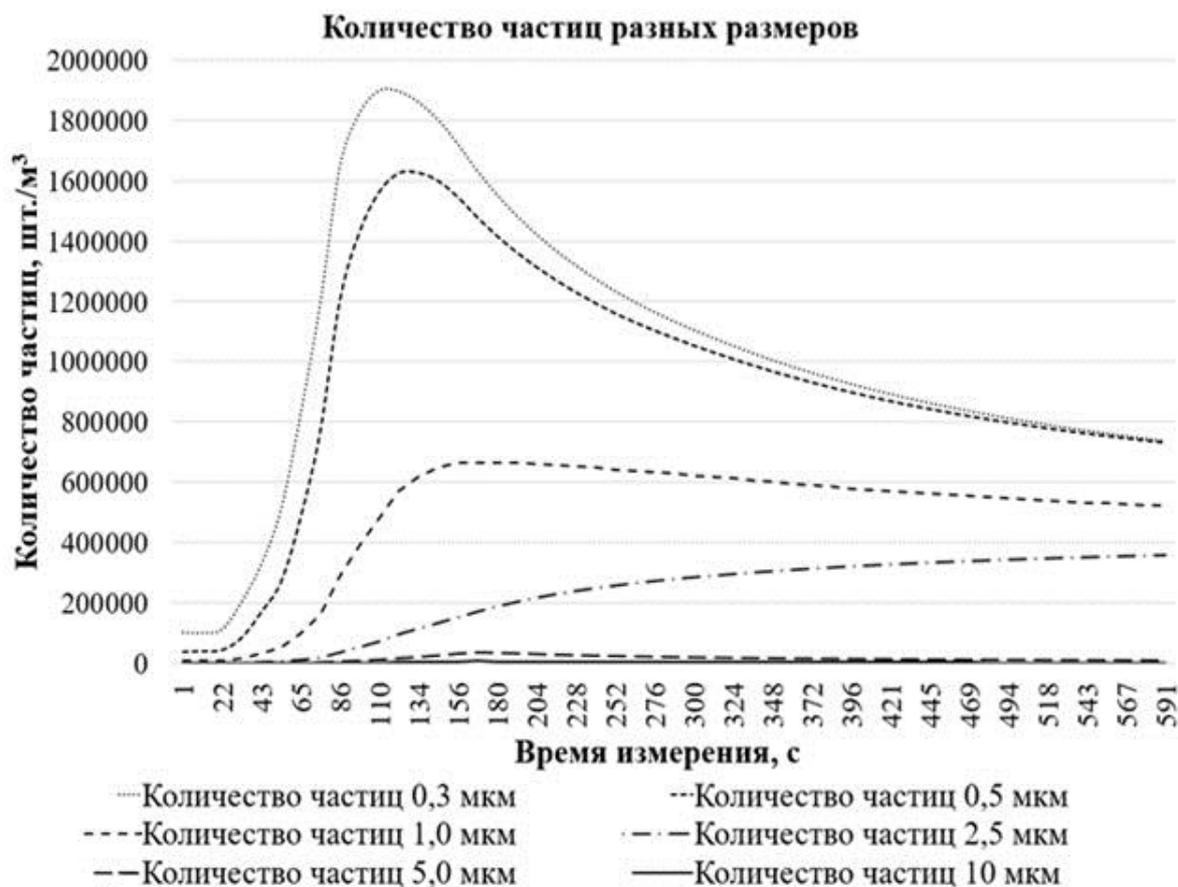


Рисунок 1. – Количество взвешенных частиц при тлении со свечением хлопка

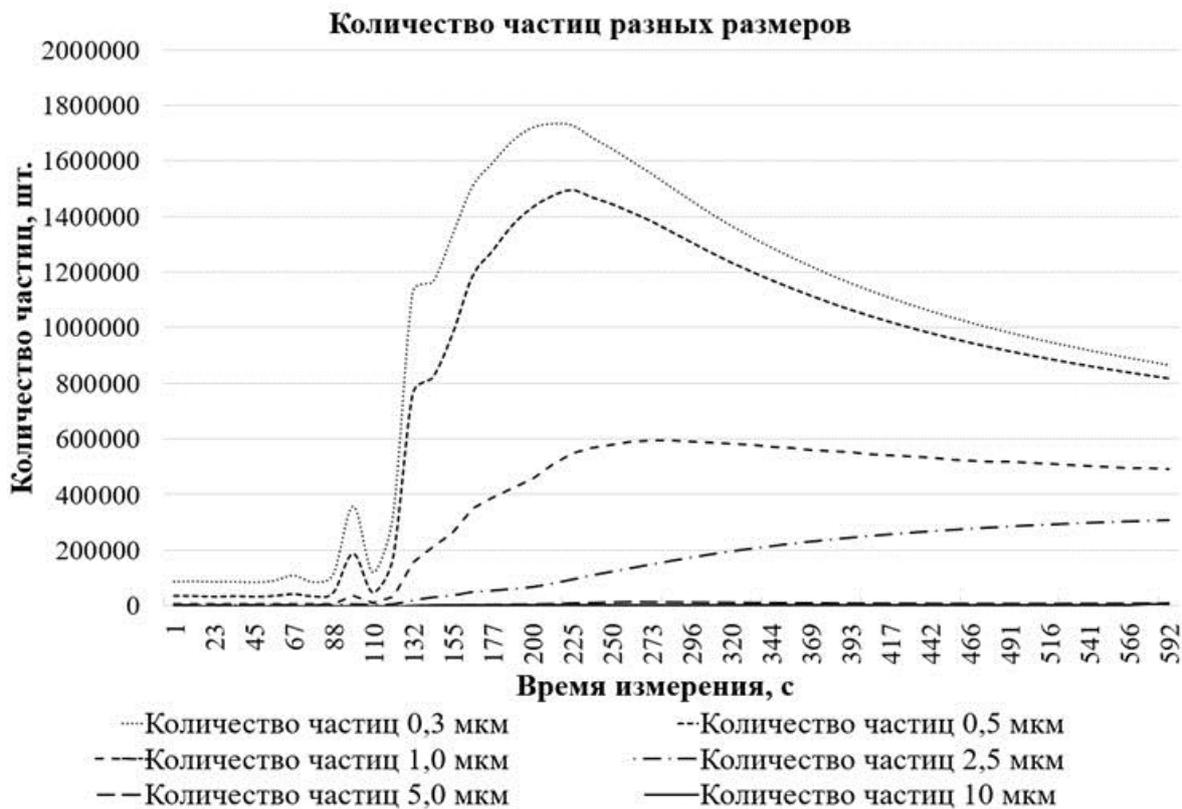
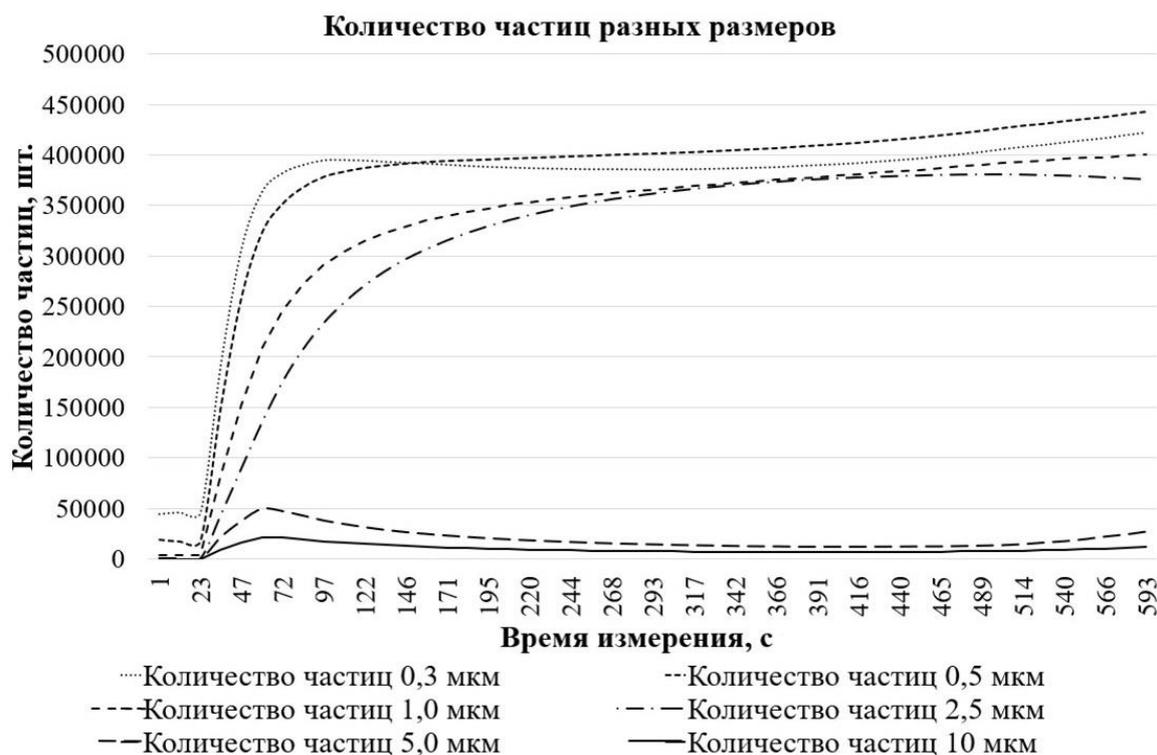


Рисунок 2. – Количество взвешенных частиц при тлении древесины



Средний размер частиц дыма и их распределение по количеству при тлении со свечением хлопка и тлении древесины примерно одинаковы. По достижении максимальной концентрации их количество снижалось, кроме частиц со средним диаметром 2,5 мкм. Больше всего оказалось частиц размером 0,3 мкм – 1 898 781 шт. Частиц размером 0,5 мкм оказалось немного меньше – 1 628 250 шт. Частиц размером в один микрон оказалось примерно в три раза меньше, чем самой мелкой фракции – 666 144. Количество частиц 2,5 мкм к концу опыта увеличилось до 359 759 шт. Частиц со средним диаметром 5 и 10 мкм оказалось 35 568 шт. и 6200 шт. соответственно. Количество частиц дыма от хлопкового фитиля и древесины на пиковых значениях примерно равны.

Частиц со средним диаметром 0,3 мкм от тестовых аэрозолей в среднем оказалось в 4 раза меньше, чем от хлопковых фитилей. Примечательно то, что по достижении максимума, количество частиц со средним диаметром от 0,3 до 2,5 мкм в этом случае не снижалось, а оставалось в одном диапазоне 350 000–450 000 шт. Частицы размером более 5 мкм имели концентрации, схожие с опытом при тлении древесины.

Далее приведены графики с результатами измерений напряжения КИПДИ и показаний ИПДОТ при тлении со свечением хлопка (рис. 4), при тлении древесины (рис. 5) и при эмиссии тестовых аэрозолей (рис. 6).

В экспериментах с тлением со свечением хлопка можно заметить, что показания КИПДОТ и КИПДИ после повышения резко останавливают рост. Это связано с конструктивными особенностями приборов.

Во время проведения экспериментов с тлением со свечением хлопка было замечено, что наиболее ясно относительно остальных приборов о начале образования дыма сигнализирует измеритель концентрации взвешенных частиц. Раньше всех начал указывать на изменения характеристик воздушной среды КИПДИ, хотя по этим показаниям проблематично достоверно определить факт возникновения дыма. Уже через 8 мин с начала эксперимента значения КИПДОТ достигли максимума.

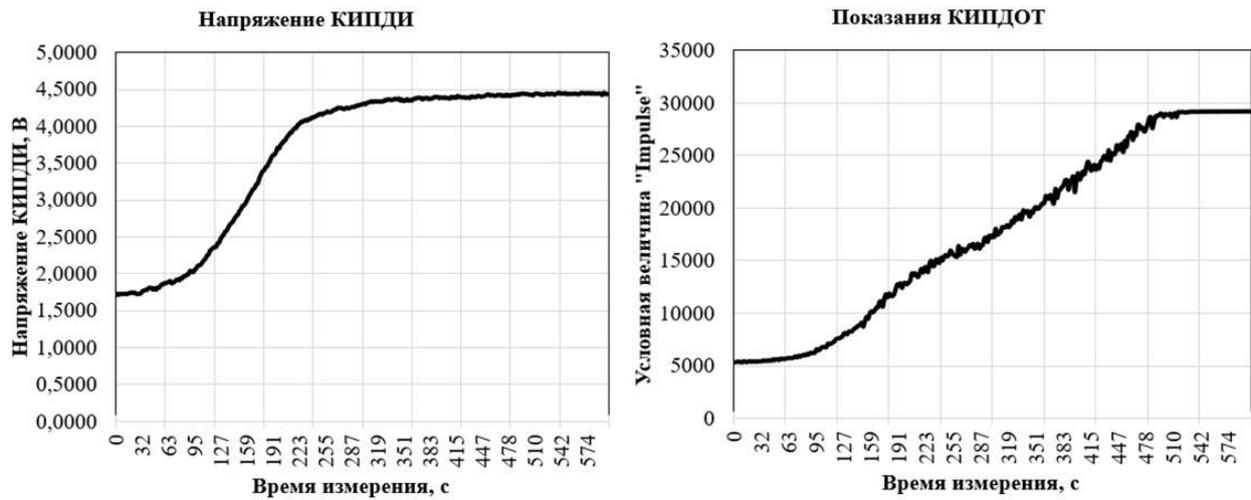


Рисунок 4. – Напряжение КИПДИ (слева) и показания КИПДОТ (справа) при тлении со свечением хлопка

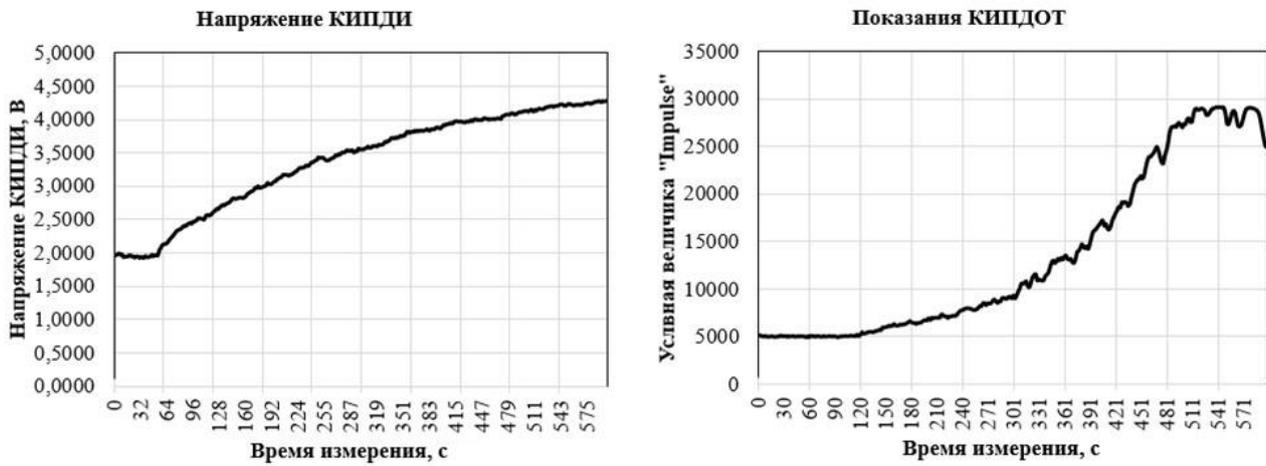


Рисунок 5. – Напряжение КИПДИ (слева) и показания КИПДОТ (справа) при тлении древесины

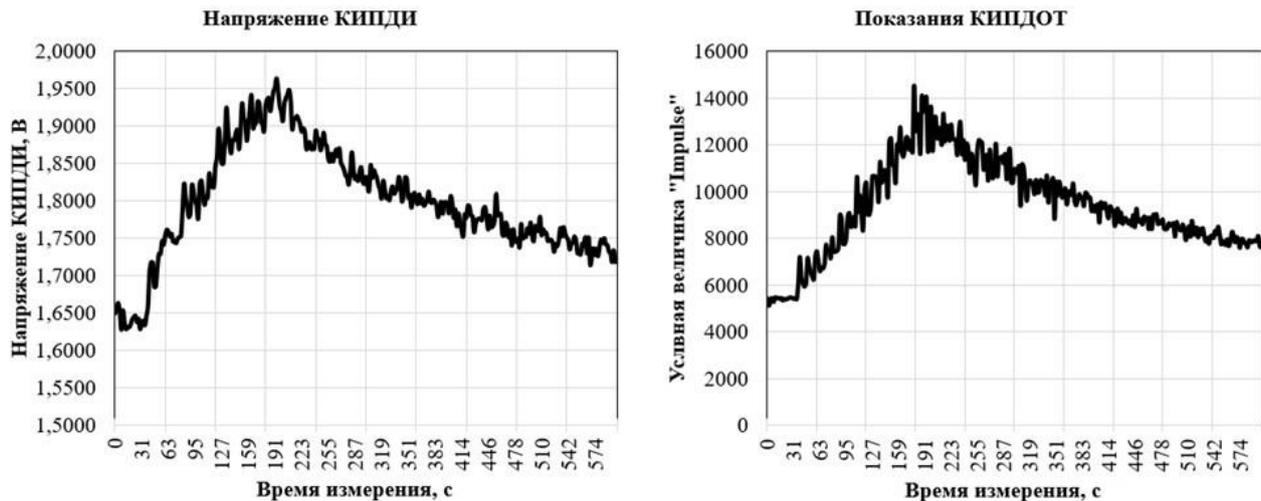


Рисунок 6. – Напряжение КИПДИ (слева) и показания КИПДОТ (справа) при эмиссии тестовых аэрозолей

При тлении древесины график удельной оптической плотности представил собой в целом кривую степенной функции. Рост начинался достаточно плавно, со временем набирая скорость. При этом удельная оптическая плотность под конец опыта близилась к значению 0,700 дБ/м, что значительно больше, чем при тлении со свечением хлопка. Показания КИПДИ начали значительно меняться в конце первой минуты опыта, после чего график пошел вверх и так же, как при опыте с тлением со свечением хлопка, стал стремиться к значению около 4,5 В. График показаний КИПДОТ в общем виде показал схожую тенденцию с показаниями ИОПД-2. При этом здесь, как и в других опытах, график упирается в значение около 29 000 ед. При этом просматривается неравномерность кривой.

Во время эмиссий тестовых аэрозолей удельная оптическая плотность среды, регистрируемая ИОПД-2, скачкообразно (с периодом примерно 11 с) возрастала и достигла максимума на 187-й с. Далее плотность дыма только уменьшалась, предположительно вследствие коагуляции мелких частиц в более крупные и их последующей седиментации. График напряжения КИПДИ от времени в целом повторял график удельной оптической плотности дыма от времени. Первый скачок напряжения случился спустя 4 с после скачка показателей ИОПД-2. В данном опыте график показаний КИПДОТ оказался похожим на график показаний ИОПД-2 при первой эмиссии и так же, как и другие приборы, далее фиксировал изменение оптических свойств среды, коррелирующее с уменьшением оптической плотности воздуха.

В таблице 1 приведены значения показаний измерительных приборов при оптической плотности дыма, соответствующей 0,1 дБ/м.

Таблица 1. – Напряжение КИПДИ и показания КИПДОТ при оптической плотности дыма, соответствующей 0,1 дБ/м

Дымообразующий материал	Показания приборов при $m = 0,1$ дБ/м	
	Напряжение КИПДИ	Показания КИПДОТ
Хлопок	4,17 В	15157 Impulse
Сосна	3,52 В	8789 Impulse
Тестовый аэрозоль	1,82 В	10129 Impulse

Из таблицы видно, что напряжение КИПДИ и показания типового извещателя при одинаковой удельной оптической плотности дыма при дымообразовании от различных источников различаются. Лучше всего приборы регистрировали дым от тлеющего хлопка. КИПДИ слабее реагировал на распыление тестовых аэрозолей, а КИПДОТ регистрировал меньшие значения при тлении древесины. В зависимости от источника дыма взвешенные частицы имеют различные характеристики, такие как форма, объем, цвет и способность пропускать свет. Предположительно, на такие частицы по-разному реагируют приборы с различающимися принципами действия, например ИОПД-2 и КИПДОТ. ИОПД-2 фиксирует относительное ослабление сигнала, проходящего по прямой линии от источника к приемнику через задымленную среду, а КИПДОТ фиксирует отраженный от частиц дыма свет. Вероятно, совокупность характеристик дыма от тления древесины и особенностей работы КИПДОТ ведет к тому, что такой дым при равных показаниях ИОПД-2 слабее отражает световой сигнал источника извещателя, нежели дым от тлеющего хлопка. Как было определено ранее, ИПДОТ почти не реагируют на частицы со средним размером 0,2 мкм и менее [2–4].

Состав тестовых аэрозолей по размерам частиц, как было определено, отличается от дымов, выделяющихся от тлеющих хлопка или древесины. Тление со свечением хлопка равномерно регистрируется всеми приборами. Тление древесины оказывается намного более заметным. Тестовые аэрозоли относительно слабо регистрируются КИПДИ, при этом оптические системы чувствительны к эмиссиям, а их состав по количествам частиц разных размеров сильно отличается от счетных концентраций частиц дыма тлеющих хлопка и древесины. Нагляднее всего регистрирует задымленность оптической среды счетчик частиц.

При этом по его показаниям можно точнее описать источник дыма и, как следствие, при его использовании во время испытаний дымовых пожарных извещателей с большей вероятностью определять соответствие условий протекания экспериментов установленным нормативным требованиям.

Заключение

Использование КИК, фиксирующее изменение массовой концентрации продуктов горения по факту изменения ионного тока не в полной мере отражает характеристики дыма, существенные для приборов с оптической фиксацией плотности дыма. Фактически КИК фиксирует частицы всех размеров, а для дымовых пожарных извещателей оптических точечных наибольшее значение имеет наличие частиц только более 0,3 мкм. Результаты, фиксируемые ионизационным прибором (КИПДИ), не могут объективно характеризовать среду с точки зрения воздействия на оптические сенсоры. Перспективным является использование КИПДОТ как средства инструментального контроля работоспособности дымовых пожарных извещателей на объектах в процессе эксплуатации.

Использование в качестве ионизационного прибора контрольной ионизационной камеры влечет существенные материальные издержки. Предлагается рассмотреть возможность применения вместо радиоизотопных приборов прибора, работающего на оптико-электронном принципе.

Результаты работы могут быть использованы в области разработок технических требований к извещателям пожарным и их методов испытаний. Также перспективно учесть результаты в области проектирования и разработки электротехнических приборов с целью создания КИПДОТ и приборов, фиксирующих количественное содержание частиц по размерам.

Совершенствование методов оценки соответствия средств обеспечения пожарной безопасности и пожаротушения способно благоприятно повлиять на их работу в реальных условиях и, соответственно, повысить безопасность объектов защиты.

ЛИТЕРАТУРА

1. Неплохов, И.Г. Пожарные извещатели. Термины, определения, принцип действия / И.Г. Неплохов // ОПС. Охранная и охранно-пожарная сигнализация. Периметральные системы: каталог. – 2013. – С. 26–29.
2. Григорьев, В.С., Аэрозоли и связь их физических параметров с пожароопасной ситуацией / В.С. Григорьев, И.В. Григорьев // Алгоритм безопасности. – 2017. – № 1. – С. 60–63. – EDN: ZISTR.
3. Алексеев, В.А. О физической модели образования аэрозольных частиц при термоокислительной деструкции полимерных материалов / В.А. Алексеев [и др.] // Методы и приборы биоинформации и контроля окружающей среды: сб. статей / Науч. ред. Е.П. Балашов, В.И. Турубаров. – Л.: Ленингр. электротехн. ин-т, 1981. – 160 с.
4. Зайцев, А. Размеры частиц дыма и корректность проведения огневых испытаний пожарных извещателей / А. Зайцев // Алгоритм безопасности. – 2014. – № 3. – С. 50–54. – EDN: VCJVN.
5. Xie, Q. Experimental Studies on Effects of Non-sphersity of Smoke Particles on the Light Scattering Characteristics / Q. Xie, H. Zhang, Y. Zhang, L. Qiao // Fire Safety Science. – 2009. – No. 9. – P. 1069–1076. – DOI: 10.3801/IAFSS.FSS.9-1069.
6. Junghenn Noyes, K.T. Wildfire Smoke Particle Properties and Evolution, From Space-Based Multi-Angle Imaging II: The Williams Flats Fire during the FIREX-AQ Campaign / K.T. Junghenn Noyes [et al.] // Remote Sensing. – 2020. – Vol. 12, No. 22. – Article 3823. – DOI: 10.3390/rs12223823.

Перспективы применения оптических измерительных приборов и устройств во время испытаний дымовых оптико-электронных точечных пожарных извещателей

Prospects of the use of optical measuring instruments and devices during the testing of smoke optoelectronic spot fire detectors

Клочихин Илья Олегович

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, Высшая школа техносферной безопасности, магистрант

Адрес: ул. Политехническая, 29,
195251, г. Санкт-Петербург, Россия
Email: klochihin.io@gmail.com
ORCID: 0000-0001-6529-1871

Ilya O. Klochihin

Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, Higher School of Technosphere Safety, graduate student

Address: Polytechnicheskaya str., 29,
195251, St. Petersburg, Russia
Email: klochihin.io@gmail.com
ORCID: 0000-0001-6529-1871

Васильев Михаил Александрович

кандидат технических наук

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, Высшая школа техносферной безопасности, доцент

Адрес: ул. Политехническая, 29,
195251, г. Санкт-Петербург, Россия
Email: mavas01@rambler.ru
ORCID: 0000-0001-8329-059X

Mikhail A. Vasiliev

PhD in Technical Sciences

Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, Higher School of Technosphere Safety, Associate Professor

Address: Polytechnicheskaya str., 29,
195251, St. Petersburg, Russia
Email: mavas01@rambler.ru
ORCID: 0000-0001-8329-059X

Танклевский Леонид Тимофеевич

доктор технических наук, профессор

Научно-исследовательский институт перспективных исследований и инновационных технологий в области безопасности жизнедеятельности Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России, отдел пожарной безопасности транспорта, главный научный сотрудник

Адрес: д. Новосаратовка, Октябрьская наб., 35,
188681, Ленинградская обл.,
Всеволожский р-н,
Свердловское г/п, Россия

Email: tanklevskiy@gefest-spb.ru
ORCID: 0000-0002-2769-0086

Leonid T. Tanklevskiy

Grand PhD in Technical Sciences, Professor

Research Institute for Advanced Studies and Innovative Technologies in the Field of Life Safety of Saint-Petersburg University of State Fire Service of EMERCOM of Russia, Transport Fire Safety Department, Chief Researcher

Address: Novosaratovka village,
Oktyabrskaya embankment, 35,
188681, Leningrad region,
Vsevolozhsk district,
Sverdlovsk urban settlement, Russia
Email: tanklevskiy@gefest-spb.ru
ORCID: 0000-0002-2769-0086

PROSPECTS OF THE USE OF OPTICAL MEASURING INSTRUMENTS AND DEVICES DURING THE TESTING OF SMOKE OPTOELECTRONIC SPOT FIRE DETECTORS

Klochihin I.O., Vasiliev M.A., Tanklevskiy L.T.

Purpose. The assessment of sensitivity of devices used and proposed for use during the testing of smoke optoelectronic spot fire detectors to smoke generated from various sources.

Methods. The study of information sources, applied standards, and methods for measuring sensitivity of fire smoke detectors, development of a specialized test stand, conducting studies at a specialized stand and analysis of the obtained results.

Findings. The results of studies of the characteristics of the air environment during smoke generation with glowing cotton, wood smouldering, and from test aerosols are presented.

Application field of research. Test laboratories of manufacturers of fire smoke detectors and accredited certification centers.

Keywords: fire detector, test methods, control ionisation chamber, particle counter, optical density, air environment characteristics.

(The date of submitting: July 15, 2022)

REFERENCES

1. Neplokhov I.G. Pozharnye izveshchateli. Terminy, opredeleniya, printsip deystviya [Fire detectors. Terms, definitions, principle of operation]. *OPS. Okhrannaya i okhranno-pozharnaya signalizatsiya. Perimetral'nye sistemy: catalogue.* – 2013. – Pp. 26–29. (rus)
2. Grigor'ev V.S., Grigor'ev I.V. Aerozoli i svyaz' ikh fizicheskikh parametrov s pozharoopasnoy situatsiyey [Aerosols and their physical parameters connection with fire hazardous objects]. *Algoritm bezopasnosti*, 2017. No. 1. Pp. 60–63. (rus). EDN: ZISTR.
3. Alekseev V.A. et al. O fizicheskoy modeli obrazovaniya aerazol'nykh chastits pri termookislitel'noy destruktсии polimernykh materialov [On physical model of the formation of aerosol particles during the thermal-oxidative-technical destruction of polymeric materials]. *Metody i pribory bioinformatsii i kontrolya okruzhayushchey sredy [Methods and devices for bioinformation and environmental control]: collection of articles.* Leningrad: Leningrad Electrotechnical Institute, 1981. 160 p. (rus)
4. Zaitsev A. Razmery chastits dyma i korrektnost' provedeniya ognevykh ispytaniy pozharnykh izveshchateley [Smoke particles' sizes and the correctness of fire tests of fire detectors]. *Algoritm bezopasnosti*, 2014. No. 3. Pp. 50–54. (rus). EDN: VCJVN.
5. Xie Q., Zhang H., Zhang Y., Qiao L. Experimental Studies on Effects of Non-sphersity of Smoke Particles on the Light Scattering Characteristics. *Fire Safety Science*, 2009. No. 9. Pp. 1069–1076. DOI: 10.3801/IAFSS.FSS.9-1069.
6. Junghenn Noyes K.T., Kahn R.A., Limbacher J.A., Li Z., Fenn M.A., Giles D.M., Hair J.W., Katich J.M., Moore R.H., Robinson C.E., Sanchez K.J., Shingler T.J., Thornhill K.L., Wiggins E.B., Winstead E.L. Wildfire Smoke Particle Properties and Evolution, from Space-Based Multi-Angle Imaging II: The Williams Flats Fire during the FIREX-AQ Campaign. *Remote Sensing*, 2020. Vol. 12, No. 22. Article 3823. DOI: 10.3390/rs12223823.

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ВОДОРОДНЫХ ЗАПРАВОЧНЫХ СТАНЦИЙ

Фомин А.В., Егоров А.А., Борисова В.А.

Цель. Провести анализ развития водородных заправочных станций в Российской Федерации, а также в зарубежных странах.

Методы. Политико-правовой метод, системно-структурный метод.

Результаты. Рассмотрено развитие водородных заправочных станций в Российской Федерации, Китае, Японии, Республике Беларусь, странах Европейского союза, а также Соединенных Штатах Америки.

Рассмотрена водородная энергетика как элемент развития транспортной отрасли. Приоритеты и цели местных планов развития в указанных странах диктуют необходимость создания водородных заправочных станций. Проведен обзор аналитических исследований пожарной опасности объектов инфраструктуры транспорта на водородном топливе, мировых тенденций в отношении применения водородного топлива в транспортной отрасли, а также материалов, доказывающих необходимость разработки глобальной инфраструктуры по применению водородного топлива и непосредственно водородных заправочных станций. Одним из направлений повышения пожарной безопасности является совершенствование процессов получения водородного топлива, его преобразования в энергию, а также хранения на автозаправочных станциях. Развитие водородных заправочных станций непосредственно влияет на создание и совершенствование водородной промышленности в мире. Состояние нормативной и технической базы в сфере обслуживания и обеспечения пожарной безопасности водородных заправочных станций нередко отстает от общего уровня экономики ряда стран.

Область применения исследований. Проведенный анализ развития водородных заправочных станций может быть использован для разработки и внедрения нормативных и технических актов в области обеспечения пожарной безопасности водородных заправочных станций.

Ключевые слова: водород, заправочная станция, пожарная безопасность, энергетика, водородная стратегия.

(Поступила в редакцию 18 июля 2022 г.)

Введение

В настоящее время на мировом рынке развитие возобновляемых источников энергии представляет собой перспективное направление. Одним из таких источников является водород, который считается отличным чистым топливом для дальнейшего широкого использования как источника энергии¹.

Однако существуют проблемы, связанные с обеспечением безопасности водородной промышленности. Водород является чрезвычайно взрывоопасным и легко воспламеняющимся в широком диапазоне концентраций газом, поэтому предотвращение его утечки и взрыва имеет первостепенное значение. Так, при создании объектов водородной промышленности, в частности водородных заправочных станций (далее – ВЗС), государства и крупные организации столкнулись с тем, что пожарная безопасность ВЗС не развита и не соответствует уровню экономики ряда стран.

Несмотря на то что подобного рода объекты энергетики имеют все шансы стать центральным элементом энергетической отрасли в ближайшие десятилетия, в наши дни

¹ Концепция развития водородной энергетики в Российской Федерации [Электронный ресурс] // Правительство России (официальный сайт). – Режим доступа: <http://static.government.ru/media/files/5JFns1CDAKqYKzZ0mnRADAw2NqcVsexl.pdf#:~:text=1.%20Концепция%20развития%20водородной%20энергетики,на%20перспективу%20до%202050%20года> – Дата доступа: 18.01.2022.

развитие альтернативных источников энергии во многом зависит от неопределенности долгосрочного спроса на альтернативную энергию в структуре энергопотребления. Однако в странах Восточной Азии добились успехов в разработке и эксплуатации объектов водородной энергетики.

Основная часть

Водородная энергетика как элемент развития транспортной отрасли. В Японии экономика базируется на импортных энергоносителях, а уровень ее самообеспечения энергией составляет менее 10%. С учетом географических особенностей данного государства поиск и использование альтернативных источников энергии находятся в числе приоритетных задач. В апреле 2014 г. правительством Японии принят Стратегический энергетический план на 2030 г., в котором сформулирована политика сокращения зависимости от ядерной энергетики и ископаемых ресурсов и расширения использования возобновляемых источников энергии [1]. На основе данного документа Совет по стратегии в области водорода при министерстве экономики, торговли и промышленности составил стратегическую дорожную карту по использованию водорода и топливных элементов.

В это же время компании Honda и Toyota приняли решение о выпуске на рынок автомобилей на водородных топливных элементах, а Iwatani Corporation и JX Nippon Oil & Energy Corporation проанализировали и опубликовали розничные цены на водород на ВЗС. Вследствие этого были проведены активные мероприятия, направленные на развитие использования водорода в качестве источника энергии.

Одним из этапов проведения Японией энергетической политики в сфере водорода стало принятие 26 декабря 2017 г. Базой водородной стратегии является план по развитию водородных технологий, включающий целый ряд программ, осуществляемых различными министерствами, в том числе в области пожарной безопасности ВЗС. Вследствие этого Япония стала первой страной, имеющей план развития водородных технологий на государственном уровне [1].

Подобная система развития водородной энергетики существует в Китайской Народной Республике. По итогам 14-й пятилетки Всекитайским собранием народных представителей (ВСНП) в марте 2021 г. принято решение о полномасштабном развитии водородной энергетики. Учитывая это, Китайский альянс водородной энергетики презентовал Белую книгу Китая по водородной энергетике и топливным элементам. В документе отмечается, что КНР стал крупнейшим производителем водорода в мире, сумев увеличить ежегодный объем производства до 33 млн тонн. Этот показатель планируется утроить к 2060 г., когда КНР планирует достичь углеродной нейтральности². Однако разработка требований пожарной безопасности осуществляется на уровне международных стандартов.

Водородная энергетика стала одним из важнейших направлений энергетического развития в Китае. В настоящее время 23 провинции, муниципалитета и автономных района Китая выпустили планы и рекомендации по развитию водородной энергетики³. Муниципальные образования разрабатывают мероприятия, ориентируясь на международные стандарты ГОСТ Р 55226-2012⁴ и ISO 19880-1:2020⁵, в общих чертах описывающие строение

² Китай выпустил Белую книгу о водородной энергетике и топливных элементах [Электронный ресурс] // Китайская глобальная телевизионная сеть (CGTN). – Режим доступа: <https://russian.cgtn.com/n/BfJEA-BAAFIA/DcAbEA/index.html>. – Дата доступа: 28.03.2022.

³ Водородная энергетика в Китае [Электронный ресурс] // Новостной портал о Китае PRC.today – Китай сегодня. – Режим доступа: <https://prc.today/vodorodnaya-energetika-v-kitae>. – Дата доступа: 02.04.2022.

⁴ Водород газообразный. Заправочные станции: ГОСТ Р 5526-2012 = Gaseous hydrogen – Fuelling stations: ISO/TS 20100:2008. – Введ. 27.11.12 – М.: Стандартинформ, 2014. – 51 с.

⁵ Gaseous hydrogen – Fuelling stations: ISO 19880-1:2020. [Electronic resource]. – Mode of access: <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:19880:-1:ed-1:v1:en>. – Date of access: 21.01.2022.

данных объектов. Учитывая это, Китай небольшими темпами старается достичь развития водородной промышленности путем наращивания производства и строительства объектов в указанной области.

Благодаря демонстрации транспортных средств на топливных элементах за последние десять лет в Китае был построен ряд объектов для заправки водородом, включая как стационарные, так и мобильные объекты. Чтобы способствовать развитию водородной инфраструктуры, Национальный технический комитет по водородной энергетике Управления стандартизации Китая (SAC/TC309) приложил немало усилий для разработки правил, кодексов и стандартов, связанных с водородными технологиями. Одним из достижений, связанных с водородной инфраструктурой, является Технический кодекс GB50516-2010 для водородных заправочных станций, который нацелен на стационарные ВЗС, в то время как мобильные ВЗС в данном документе не рассматриваются. В качестве дополнения к Техническому кодексу водородной заправочной станции в настоящее время разрабатывается новый стандарт «Технический регламент безопасности передвижной водородной заправочной станции» [2].

Что касается мировых тенденций в отношении применения водородного топлива в транспортной отрасли, стоит отметить, что 9 сентября 2009 г. ведущие мировые автопроизводители подписали соглашение, направленное на попытку показать правительствам стран и энергетическим компаниям необходимость разработать глобальную инфраструктуру по применению водородного топлива и непосредственно ВЗС. Анализ, проведенный в сентябре 2014 г. в отчете INERIS DRA-14-141532-06227C BENCHMARK STATIONS-SERVICE HYDROGENE, основан на документах, собранных путем библиографического обзора, и информации, полученной с помощью анкеты, разосланной властям США (штат Калифорния), Великобритании, Италии, Германии, Канады, Швеции, Норвегии, Дании и Испании, представляет собой обобщение правил и процесса выдачи разрешений в вышеуказанных странах (а также стран, участвовавших в разработке Европейской директивы о развертывании инфраструктуры альтернативных видов топлива в Европе), рассмотрение необходимых элементов безопасности в различных частях заправочной станции, и особенно для зоны выдачи топлива потребителям, а также обзор различных подходов к безопасным расстояниям и процессам получения лицензий на работу [3].

По сравнению с вышеуказанными странами, в Российской Федерации ВЗС в массовом количестве отсутствуют, что дает основания для развития данной отрасли. Однако разработанные Концепция развития водородной энергетики в Российской Федерации и Развитие водородной энергетики в Российской Федерации до 2024 г. предполагают достижение данных целей путем разработки и совершенствования нормативно-правовой базы, постепенное внедрение объектов водородной промышленности, в частности ВЗС⁶.

Так, Национальная ассоциация водородной энергетики (НАВЭ), занимающаяся вопросами технического регулирования в области водородных технологий и топливных элементов на территории как Российской Федерации, так и близлежащих стран, утверждает, что для коммерциализации водородных технологий в России на современном этапе ключевым является создание экономически эффективных транспортно-энергетических комплексов, а также международное сотрудничество в рамках технических комитетов ISO/TC 197 и IEC/TC 105 [4].

Пожарная опасность автозаправочных станций, в том числе на альтернативном топливе, обусловлена, во-первых, наличием на них топлива – веществ с высокой горючестью, во-вторых, особенностями технологических процессов – приема, хранения и выдачи

⁶ План мероприятий «Развитие водородной энергетики в Российской Федерации до 2024 года», утв. распоряжением Правительства Российской Федерации от 12 октября 2020 г. № 2634-р [Электронный ресурс] // Законодательство Российской Федерации. – Режим доступа: <https://rulaws.ru/government/rasporyazhenie-pravitelstvaf-ot-12.10.2020-n-2634-r/>. – Дата доступа: 21.01.2022.

топлива потребителям. Проведенные исследования, посвященные вопросам пожарной опасности объектов инфраструктуры транспорта на водородном топливе [5], говорят, что наибольшую опасность на данных объектах представляет компрессорное оборудование, имеющее значение потенциального риска, которое превышает 10^{-4} /год. Отмечено, что минимальное расстояние от указанного оборудования до окружающих объектов, не относящихся к станции, должно составлять 50 м.

Одним из направлений повышения пожарной безопасности является совершенствование процессов получения водородного топлива, его преобразования в энергию, а также хранения на автозаправочных станциях.

Например, к числу перспективных проектов в области водородной энергетики на объектах транспорта можно отнести проект передвижного энергетического комплекса для утилизации биомассы горельников (ПЭКУБГ), оставшейся после воздействия пожара на лесной массив [6], разработанный коллективом сотрудников и обучающихся Тихоокеанского государственного университета.

Несмотря на интерес к вопросам водородной энергетики и проблематике использования водородного топлива в транспортной отрасли, нормативные правовые акты и нормативные документы, регулирующие требования пожарной безопасности при проектировании, капитальном строительстве и эксплуатации вышеуказанных объектов защиты отсутствуют.

Схожая ситуация наблюдается и на территории Республики Беларусь. Результаты исследования [7] доказали, что применение водородного топлива является актуальным решением для развития декарбонизированной экономики государства, диверсификации видов топливно-энергетических ресурсов и повышения уровня энергетической самостоятельности в соответствии с Национальной стратегией устойчивого социально-экономического развития Республики Беларусь.

Заключение

Таким образом, уровни развития ВЗС в развитых странах заметно отличаются. Однако меры по обеспечению безопасности ВЗС в настоящее время не разработаны. Дальнейшие работы по обеспечению пожарной безопасности объектов водородной энергетики, а именно создание и внедрение нормативных и технических актов, должно усовершенствовать и ускорить строительство ВЗС.

ЛИТЕРАТУРА

1. Мастепанов, А.М. Водородная стратегия Японии – энергетическая политика / А.М. Мастепанов, А. Хирофуми // Энергетическая политика. – 2020. – Т. 153, № 11. – С. 62–73. – DOI: 10.46920/2409-5516_2020_11153_62. – EDN: QEJHIO.
2. Li, Z. Development of safety standard for mobile hydrogen refueling facilities in China / Z. Li [et al.] // International Journal of Hydrogen Energy. – 2014. – Vol. 39, No. 25. – P. 13935–13939. – DOI: 10.1016/j.ijhydene.2014.02.017.
3. Pique, S. Comparative study of regulations, codes and standards and practices on hydrogen fuelling stations / S. Pique [et al.] // International Journal of Hydrogen Energy. – 2017. – Vol. 42, No. 11. – P. 7429–7439. – DOI: 10.1016/j.ijhydene.2016.02.158.
4. Раменский, А.Ю. Вопросы технического регулирования: ключевой элемент формирования рынка водородных технологий и топливных элементов / А.Ю. Раменский // Водородные энергетические технологии. – 2017. – С. 22–30. – EDN: YEANGD.
5. Гордиенко, Д.М. Пожарная безопасность объектов инфраструктуры транспорта на водородном топливе / Д.М. Гордиенко, Ю.Н. Шебеко // Пожаровзрывобезопасность. – 2022. – Т. 31, № 2. – С. 41–51. – DOI: 10.22227/0869-7493.2022.31.02.41-51. – EDN: FYZNQV.
6. Басаргин, В.Д. Применение передвижного энергетического комплекса на базе газогенератора и дизеля для утилизации биомассы горельников с получением водорода и кислорода из воды /

- В.Д. Басаргин // Вестник Тихоокеанского государственного университета. – 2011. – Т. 22, №. 3. – С. 103–111. – EDN: OITUGH.
7. Лесюкова, В.В. Применение водородного топлива как фактор повышения экологической безопасности / В.В. Лесюкова, Д.А. Лапченко // Новые горизонты – 2021: сб. материалов VIII Белорусско-Китайского молодежного инновационного форума, 11–12 ноября 2021 г. – Минск: БНТУ, 2021. – Т. 2. – С. 54–56.

Обеспечение пожарной безопасности водородных заправочных станций
Ensuring fire safety of hydrogen filling stations

Фомин Александр Викторович

кандидат технических наук, профессор
Санкт-Петербургский университет
ГПС МЧС России, кафедра надзорной
деятельности, профессор
Адрес: пр-т Московский, 149,
196105, г. Санкт-Петербург, Россия
Email: fomin.a@igps.ru
ORCID: 0000-0001-6093-1446

Alexander V. Fomin

PhD in Technical Sciences, Professor
Saint-Petersburg University
of State Fire Service of EMERCOM of Russia,
Chair of Supervisory Activities, Professor
Address: Moskovskiy ave., 149,
196105, St. Petersburg, Russia
Email: fomin.a@igps.ru
ORCID: 0000-0001-6093-1446

Егоров Андрей Александрович

Санкт-Петербургский университет
ГПС МЧС России, факультет подготовки
кадров высшей квалификации, адъюнкт
Адрес: пр-т Московский, 149,
196105, г. Санкт-Петербург, Россия
Email: andreey-e@mail.ru
ORCID: 0000-0003-2495-3829

Andrey A. Egorov

Saint-Petersburg University
of State Fire Service of EMERCOM of Russia,
Faculty of Higher Qualification Personnel
Training, adjunct
Address: Moskovskiy ave., 149,
196105, St. Petersburg, Russia
Email: andreey-e@mail.ru
ORCID: 0000-0003-2495-3829

Борисова Валерия Анатольевна

Санкт-Петербургский университет
ГПС МЧС России, факультет подготовки
кадров высшей квалификации, адъюнкт
Адрес: пр-т Московский, 149,
196105, г. Санкт-Петербург, Россия
Email: valery.borisova.01@yandex.ru
ORCID: 0000-0001-9240-2274

Valeria A. Borisova

Saint-Petersburg University
of State Fire Service of EMERCOM of Russia,
Faculty of Higher Qualification Personnel
Training, adjunct
Address: Moskovskiy ave., 149,
196105, St. Petersburg, Russia
Email: valery.borisova.01@yandex.ru
ORCID: 0000-0001-9240-2274

ENSURING FIRE SAFETY OF HYDROGEN FILLING STATIONS**Fomin A.V., Egorov A.A., Borisova V.A.**

Purpose. To analyze the development of hydrogen filling stations in the Russian Federation, as well as in foreign countries.

Methods. Political and legal method, system-structural method.

Findings. The development of hydrogen filling stations in the Russian Federation, China, Japan, the Republic of Belarus, as well as the countries of the European Union, as well as the United States of America, is considered.

Hydrogen energy is considered as an element of the development of the transport industry. The priorities and goals of local development plans in above mentioned countries dictate the need to create hydrogen filling stations. A review of analytical studies of the fire hazard of hydrogen fuel transport infrastructure facilities, global trends in the use of hydrogen fuel in the transport industry, as well as materials proving the need to develop a global infrastructure for the use of hydrogen fuel, namely, hydrogen filling stations was reviewed. One of the ways to improve fire safety is to improve the processes for obtaining hydrogen fuel, its conversion into energy, as well as storage at gas stations. The development of hydrogen filling stations directly affects the creation and improvement of the hydrogen industry in the world. The state of the regulatory and technical base in the field of maintenance and fire safety of hydrogen filling stations often lags behind the general level of the economy in a number of countries.

Application field of research. The carried out analysis of the development of hydrogen filling stations can be used to develop and implement regulatory and technical acts in the field of ensuring the fire safety of hydrogen filling stations.

Keywords: hydrogen, filling station, fire safety, energy, hydrogen strategy.

(The date of submitting: July 18, 2022)

REFERENCES

1. Mastepanov A.M., Khirufumi A. Vodorodnaya strategiya Yaponii-energeticheskaya politika [Japan's hydrogen strategy]. *Energy policy*, 2020. Vol. 153, No. 11. Pp. 62–73. (rus). DOI: 10.46920/2409-5516_2020_11153_62. EDN: QEJHIO.
2. Li Zhiyong, Pan Xiangmin, Sun Ke, Zhou Wei. Development of safety standard for mobile hydrogen refueling facilities in China. *International Journal of Hydrogen Energy*, 2014. Vol. 39, No. 25. Pp. 13935–13939. DOI: 10.1016/j.ijhydene.2014.02.017.
3. Sylvaine Pique, Weinberger B., De-Dianous V., Debray Bruno Comparative study of regulations, codes and standards and practices on hydrogen fuelling stations. *International Journal of Hydrogen Energy*, 2017. Vol. 42, No. 11. Pp. 7429–7439. DOI: 10.1016/j.ijhydene.2016.02.158.
4. Ramenskiy A.Yu. Voprosy tekhnicheskogo regulirovaniya: klyuchevoe element formirovaniya rynka vodorodnykh tekhnologiy i toplivnykh elementov [Issues of technical regulation: a key element of the formation of the market for hydrogen technologies and fuel cells]. *Vodorodnye energeticheskie tekhnologii*, 2017. Pp. 22–30. (rus). EDN: YEANGD.
5. Gordienko D.M., Shebeko Yu.N. Pozharnaya bezopasnost' ob"ektov infrastruktury transporta na vodorodnom toplive [The fire safety of infrastructure facilities for hydrogen-powered vehicles]. *Pozharovzryvobezopasnost*, 2022. Vol. 31, No. 2. Pp. 41–51. (rus). DOI: 10.22227/0869-7493.2022.31.02. 41-51. EDN: FYZNQV.
6. Basargin V.D. Primenenie peredvizhnogo energeticheskogo kompleksa na baze gazogeneratora i dizelya dlya utilizatsii biomassy gorelnikov s polucheniem vodoroda i kisloroda iz vody [The use of a mobile energy complex for utilization of biomass of burnt woods with production of hydrogen and oxygen]. *Bulletin of PNU*, 2011. Vol. 22, No. 3. Pp. 103–111. (rus). EDN: OITUGH.
7. Lesyukova V.V., Lapchenko D.A. Primenenie vodorodnogo topliva kak faktor povysheniya ekologicheskoy bezopasnosti [The use of hydrogen fuel as a factor in improving environmental safety]. *Proc. VIII Belarusian-Chinese Youth Innovation Forum «New Horizons – 2021»*, Minsk, November 11–12, 2021. Minsk: Belarusian National Technical University, 2021. Vol. 2. Pp 54–56. (rus)

**КАФЕДРА ПРОЦЕССОВ ГОРЕНИЯ И ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ
АКАДЕМИИ ГОСУДАРСТВЕННОЙ ПРОТИВОПОЖАРНОЙ СЛУЖБЫ
МЧС РОССИИ: СЛАВНОЕ ПРОШЛОЕ – ПЕРСПЕКТИВНОЕ БУДУЩЕЕ**

**Елтышев И.П., Копылов П.С., Первенев Э.Э., Петрилин Д.А.,
Тетерин И.А., Тимохин В.В., Шангараев Р.Р.**

Цель. Изучение и анализ основных направлений научной деятельности кафедры процессов горения и экологической безопасности (в составе учебно-научного комплекса процессов горения и экологической безопасности) Академии Государственной противопожарной службы.

Методы. В ходе выполнения работы были применены теоретические методы исследования (обзор, описание, анализ).

Результаты. В работе приведены основные вехи становления кафедры «Процессы горения и экологической безопасности». Рассмотрены научные достижения, появившиеся благодаря кропотливой работе коллектива кафедры с момента ее создания. Описываются новейшие разработки кафедры в области предотвращения взрыва, снижения рисков возникновения пожара, повышения безопасности техногенной зоны.

Область применения исследований. Результаты проведенного анализа показывают новейшие разработки в области обеспечения безопасного применения сжиженного природного газа, создания негорючих хладагентов и новых огнетушащих веществ, снижения угрозы взрыва на объектах различного назначения, изучения пиррофорных коррозионных отложений. Данный обзор может быть полезен исследователям, работающим в схожих областях.

Ключевые слова: взрыв, безопасность, хладагенты, огнетушащие вещества, коррозия.

(Поступила в редакцию 15 июля 2022 г.)

Введение

Кафедра «Процессы горения» (в настоящее время – кафедра «Процессы горения и экологической безопасности (ПГиЭБ)») в Высшей инженерной пожарно-технической школе МВД СССР (в настоящее время – Академия Государственной противопожарной службы МЧС России) была создана в 1975 г. Это стало возможным в результате понимания руководством учебного заведения и прежде всего его начальником генерал-майором внутренней службы А.Н. Смуровым, что горение – главный, основной процесс на пожаре, подготовку высококвалифицированных инженерных кадров для пожарной охраны страны необходимо вести на базе современных представлений о теории этого сложнейшего явления.

Первым начальником кафедры стал инициатор ее создания доктор технических наук, профессор И.М. Абдурагимов.

На кафедре преподавались две дисциплины «Процессы горения» и «Физико-химические основы развития и тушения пожаров». В первые годы становления кафедры особое внимание уделялось созданию учебно-научной лабораторной базы. Первым начальником лаборатории стал С.И. Зернов.

С 1989 г. на кафедре преподается новая учебная дисциплина «Экология». Большая заслуга в ее становлении и развитии принадлежит доценту Л.К. Исаевой, сейчас доктору технических наук, профессору, заслуженному экологу Российской Федерации.

В настоящее время научную деятельность кафедры можно разделить на следующие направления: обеспечение безопасности применения сжиженного природного газа, созда-

ние негорючих хладагентов, разработка новых огнетушащих веществ, снижение угрозы взрыва на объектах различного назначения, в том числе в жилых многоквартирных домах и транспортных тоннелях, изучение пирофорных коррозионных отложений.

Данная статья посвящена изучению научной деятельности кафедры ПГиЭБ с момента ее создания. Описаны основные направления научных исследований, проводимых в настоящее время.

Основная часть

Краткий обзор развития научной деятельности кафедры. За время работы кафедры были достигнуты заметные результаты в научной деятельности профессорско-преподавательского состава. Большой вклад в понимание развития пожаров твердых горючих материалов внесен И.М. Абдурагимовым, А.С. Андросовым, Е.В. Крыловым и др. Разработаны и внедрены в практику системы порошково-залпового тушения пожаров фонтанов (УЗТПФ, ППП-200), на которые были получены авторские свидетельства СССР, медали ВДНХ СССР (И.М. Абдурагимов, А.С. Андросов, В.Е. Макаров), в стенах кафедры зарождалась и нашла практический выход в установке «Пурга» идея подачи комбинированной пены (адъюнкт Г.Н. Куприн, И.М. Абдурагимов, В.Е. Макаров), системы подавления взрывов в технологических аппаратах химической промышленности (И.М. Абдурагимов, В.Ю. Говоров, В.Е. Макаров, А.С. Андросов), разработан и внедрен способ тушения разливов горючих жидкостей на аэродромах (И.М. Абдурагимов, Е.Н. Понимасов, В.Е. Малейкин, Л.К. Исаева, И.Р. Бегишев). Развивались приемы тушения пожаров в квартирах порошковыми огнетушителями (И.М. Абдурагимов, С.А. Бобков, дипломник А.Ф. Недоступ, адъюнкт С.К. Субизаретто) и на их основе в СССР и на Кубе созданы и поставлены в боевые расчеты автомобили быстрого реагирования.

Теоретически обоснована и доведена до практического внедрения экологически чистая, пожаровзрывобезопасная технологическая система нефтепродуктообеспечения на основе жидкого азота (А.С. Андросов).

В 1990-х гг. кафедра принимала активное участие в решении проблемы замены озоноразрушающих веществ. По заказу Российского научного центра «Прикладная химия» на кафедре проводились исследования пожарной опасности смесевых композиций альтернативных хладонов (И.Р. Бегишев, С.А. Бобков, С.Ю. Смирнов, А.К. Беликов, П.В. Комраков, Л.Ю. Тимченко). В эти же годы был проведен большой цикл исследований по воспламенению кислород- и хлорсодержащих горючих смесей под действием УФ-излучения, были установлены новые закономерности и явления.



Рисунок 1. – Экспериментальные установки по исследованию пожарной опасности альтернативных хладонов и фотовоспламенения хлорсодержащих горючих смесей

Созданы научные основы пожаровзрывобезопасности фотохимических производств, разработаны рекомендации для ряда конкретных промышленных технологических процессов. Результаты исследований внедрены на Кирово-Чепецком и Волгоградском химических

заводах (И.Р. Бегишев, А.К. Беликов, С.Ю. Смирнов, О.Л. Громовенко, П.В. Комраков). Исследовались параметры горения углеводородных газов в искусственной окислительной среде диоксида углерода и кислорода, разработаны рекомендации по созданию экологически безопасной технологии сжигания углеводородных видов топлива (И.Р. Бегишев, А.В. Бабурин).

Сотрудниками, адъюнктами, слушателями кафедры А.Г. Власовым, А.Г. Грачевым, С.В. Легусовым, В.А. Сулименко, С.В. Соловьевым под руководством профессора Л.К. Исаевой в 1990-х гг. начаты и продолжаются в настоящее время исследования по обеспечению экологической и пожарной безопасности полигонов и свалок, жилых зданий, лесов и торфяников, объектов обращения нефти и нефтепродуктов, подземных зданий, сооружений и др. Изучение эколого-экономических последствий загрязнения окружающей среды при пожарах завершилось внедрением в практику методики определения размера вреда, причиненного окружающей среде загрязнением атмосферного воздуха в результате пожаров на территории г. Москвы (Постановление Правительства Москвы от 13 сентября 2005 г. № 689-ПП).

На кафедре проводились исследования условий самовозгорания пиррофорных отложений, образующихся в резервуарах с сернистой нефтью (И.Р. Бегишев, А.С. Андросов, С.А. Бобков, А.В. Бабурин, П.В. Комраков). Разработанные рекомендации использованы при создании новой технологии хранения сернистой нефти, обеспечивающей пожаровзрывобезопасность резервуарного парка.

В рамках ОКР с Минобороны России коллективом кафедры разработана технология тушения пожаров внутри штабеля специзделий на начальной стадии развития пожаров, высокую эффективность которой подтвердили полигонные испытания.

Современное направление исследований. Современные технологические процессы на объектах энергетики с участием сжиженного природного газа (СПГ) характеризуются высоким уровнем пожаровзрывоопасности, что подтверждается пожарами, которые происходят в различных странах мира [1]. Наиболее важными параметрами, определяющими уровень пожаровзрывоопасности пролива СПГ, является размер образующейся взрывоопасной зоны, определяемый по достижению нижнего концентрационного предела. В ряде работ рассмотрено поведение СПГ при проливе на различную подстилающую поверхность [2], в том числе на водную [3].

До сих пор не рассмотрены сценарии формирования парогазовоздушного облака при развивающихся пожарах и авариях, когда в зону утечки газа попадают нагретые до значительных температур оборудование, арматура и прочие технологические элементы, а также не учитываются теплофизические свойства подстилающей поверхности [4].

Особенностью аварийных выбросов СПГ является возможность образования паров метана, содержащих мелкодисперсные аэрозольные жидкие капли. Важную роль играют фазовые переходы в образовании аэрозольного облака, которые влияют на температурные параметры. Поэтому детальное изучение формирования аэрозолей при аварийных выбросах с учетом нестандартных условий, свойств парожидкостных облаков, создание математических моделей, адекватно описывающих распространение облака, процесса горения, представляет собой актуальную задачу. Решение данной задачи является важным элементом оценки риска и обеспечения безопасности на объектах энергетики, что позволяет получать более реалистичные результаты при расчете характеристики облаков СПГ и оценке их опасности.

Одной из наиболее типичных аварийных ситуаций на объектах с наличием СПГ является пролив продукта, его растекание и образование взрывоопасного газопаровоздушного облака [1]. Рассмотрим более детально данный случай аварии.

Характер распространения СПГ после разгерметизации зависит от внешних условий. При отсутствии ветра СПГ будет стелиться по поверхности, в дальнейшем, ввиду различных плотностей метана и воздуха, облако поднимется вверх. На формирование облака

и его размер влияют метеоусловия: направление и скорость ветра, температура, давление и влажность воздуха.

При аварийной разгерметизации резервуаров с СПГ может распространяться без воспламенения, с воспламенением в непосредственной близости с резервуаром и на расстоянии. При предварительном длительном нагревании резервуара до его разгерметизации возможен взрыв расширяющихся паров вскипающей жидкости, образование огненного шара.

На формирование облака газозооушной смеси при утечке СПГ влияет целый ряд факторов: неоднородность концентраций, наличие двухфазного компонента, процесс испарения капель в облаке, изменение температурных полей, процесс перемешивания газа с воздухом, наличие водяного пара [5]. Данными процессами можно объяснить появление множества очагов инициирования по всему объему газозооушного облака, что приводит к значительной турбулизации фронта пламени.

Таким образом, исследования в этой области требуют дальнейшего совершенствования и являются актуальными, т.к. процессы формирования взрывопожароопасной зоны при аварийном выбросе в рассмотренных условиях отличаются от существующих рассчитанных моделей.

Особо важным направлением исследований, проводимых кафедрой ПГиЭБ, является создание новых пожаробезопасных хладагентов с коротким временем жизни в атмосфере, в связи с тем что под запрет производства в соответствии с Монреальским протоколом по веществам, разрушающим озоновый слой Земли [6], попали широко применяющиеся в холодильной технике хладагенты R-11 (CFCl_3) и R-12 (CF_2Cl_2), являющиеся озоноразрушающими веществами. Вещества, пришедшие им на замену, оказались парниковыми газами (R-134a, R-23, R-125, R-227ea), внося свой вклад в укрепление парникового эффекта. Производство данных веществ в соответствии с Кигалийской поправкой к Монреальскому протоколу [7] будет ограничено на 85 % к 2036 г. Дальнейший поиск экологически безопасных хладагентов остановился на предельных и некоторых галогензамещенных углеводородах, таких как пропан – R-290 (C_3H_8), бутан – R-600 (C_4H_{10}), трифторпропен – R-1243 ($\text{C}_3\text{F}_3\text{H}_3$), тетрафторпропен – R-1234yf ($\text{C}_3\text{F}_4\text{H}_3$). Несмотря на то что данные вещества являются короткоживущими в атмосфере (не являются парниковыми газами), обладают необходимыми термодинамическими параметрами для работы в холодильном оборудовании, они являются горючими веществами и их применение повышает риск возникновения пожара, а также приводит к увеличению затрат на обеспечение пожаровзрывобезопасности установок, в которых они используются.

Данное исследование направлено на решение проблемы горючести хладагентов путем создания пожаробезопасных смесевых композиций с коротким временем жизни в атмосфере. Для создания смесевых хладагентов применяемые в настоящее время горючие хладагенты смешивают с ингибиторами горения. Этот способ позволяет также сократить использование парниковых газов в холодильной технике.

Поставленная задача решалась путем определения концентрационных пределов распространения пламени создаваемых смесей. Серии опытов были проведены на экспериментальном оборудовании (установки «Вариант» и «Предел-2»), соответствующем стандарту¹. Установки позволяют определять концентрационные пределы распространения пламени по горючей газовой смеси, максимальное развиваемое при взрыве давление, скорость нарастания давления взрыва, давление в реакционном сосуде после проведения опыта.

Для целенаправленного подбора ингибиторов горения для горючего хладагента, был произведен расчет механизма деструкции фторированных углеводородов в углеводород-

¹ Система стандартов безопасности труда. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов. Номенклатура показателей и методы их определения: ГОСТ 12.1.044-89 (ИСО 4589-84). – Введ. 01.01.91. – М.: Стандартинформ, 2006. – 99 с.

ном (пропановом) пламени, который позволит полностью описать экспериментально наблюдаемую картину их превращения в пламени. Благодаря данному механизму был обоснован выбор в качестве ингибиторов горения хладонов 23, 125 и 227ea, а также перспективного огнетушащего вещества C_6F_{12} и современного огнетушащего вещества ФК-5-1-12 ($C_6F_{12}O$). В работе в целях понимания опасности некоторых хладагентов были определены классы опасности для хладагентов: R-365mfc и R-1243.

Получен широкий спектр смесевых композиций: 1) смеси пропана (R-290) с хладагентами 23, 125, 227ea; 2) смеси R-365mfc с C_6F_{12} , $C_6F_{12}O$, CF_3I ; 3) CH_2Cl_2 и $C_2H_4Cl_2$ с пропаном (R-290) и хладагентами 125, 227ea; 4) смеси тетрафторпропена (R-1234yf) с хладагентами 125, 227ea.

Полученные результаты позволяют в дорогостоящем фторсодержащем хладоносителе, обладающем большим потенциалом глобального потепления, уменьшить содержание парниковой компоненты на 88 % по массе, внося тем самым вклад в решение проблемы глобального потепления, получив при этом негорючий смесевой продукт. Варьированием состава смеси можно также добиться максимальной термодинамической эффективности хладагента применительно к конкретным условиям его использования в холодильном оборудовании.

В настоящее время на кафедре ведутся научные исследования, касающиеся обеспечения взрывобезопасности объектов различного назначения. Особый интерес представляют жилые многоквартирные дома и автотранспортные тоннели. Статистика показывает, что в 2021 г. на территории Российской Федерации газифицировано 72,1 % от общего числа жилых домов². Только в Москве газифицировано 24 088 жилых строений, из которых 19 823 – многоквартирные жилые дома [8].

Чрезвычайные ситуации, связанные со взрывами бытового газа в жилых домах на территории Российской Федерации, – явление довольно частое. Порой эти случаи не только сопровождаются локальным возгоранием, но и приводят к разрушению квартир, обрушению этажей и подъездов жилых зданий.

Таким образом, актуальность исследований, проводимых на кафедре ПГ и ЭБ в данной области, обусловлена аварийными взрывами газовоздушных смесей внутри жилых домов, следствием которых являются человеческие жертвы и большой материальный ущерб (рис. 2), а также отсутствие конструктивных решений, позволяющих снизить ущерб от дефлаграционных взрывов.

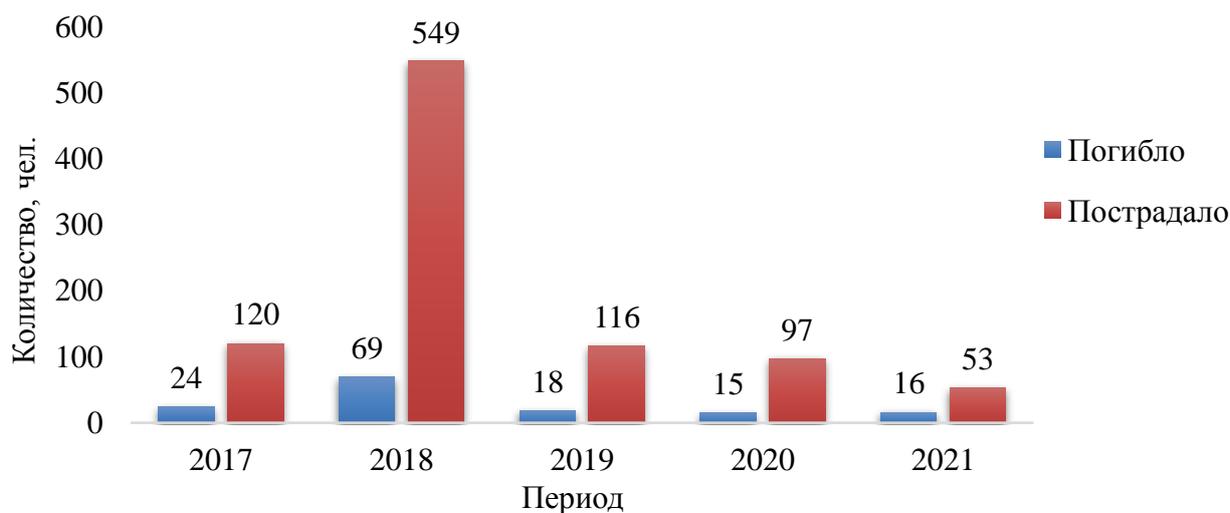


Рисунок 2. – Динамика числа погибших и пострадавших при взрывах в жилых многоквартирных газифицированных домах

² Результат реализации программ газификации за период 2005–2020 гг. [Электронный ресурс] // Режим доступа: <https://www.gazprom.ru/about/production/gas-infrastructure-expansion/>. – Дата доступа: 26.09.2020.

Для того чтобы минимизировать последствия взрывов бытового газа в жилых многоквартирных домах, необходимо определить основные факторы, характеризующие степень тяжести последствий в результате взрыва.

Таким образом, основные направления в работе кафедры по данной проблеме:

– анализ способов обеспечения взрывобезопасности и защиты жилых домов от разрушения при внутреннем дефлаграционном взрыве с выявлением их отличительных особенностей;

– экспериментальное установление динамики изменения параметров взрыва газовой смеси стехиометрического состава в зависимости от параметров предохранительных конструкций;

– получение на основе проведенных экспериментальных исследований параметров конструкций, необходимых для обеспечения взрывоустойчивости жилых многоквартирных домов.

Проблема обеспечения взрывобезопасности транспортных тоннелей возникла с большим развитием тоннелестроения. Например, 24 марта 1999 г. в тоннель под Монбланом на границе Италия–Франция въехал грузовик с 9 т маргарина и 12 т муки, в результате взрыва этого грузовика погибло 39 человек (рис. 3).



Рисунок 3. – Последствия взрыва грузовика в тоннеле под Монбланом

В последнее время с разработкой новых, прогрессивных технологий строительства тоннелей, увеличением длины сложных транспортных развязок встал вопрос создания надежной системы безопасности, базирующейся на оценке и расчетах критических параметров взрыва углеводородно-воздушных смесей. Пропан-бутановая газовоздушная смесь часто является причиной внутренних аварийных взрывов в тоннелях при эксплуатации личных автотранспортных средств и автотранспортных средств, осуществляющих перевозку углеводородных видов топлива, поскольку она выгодна как с экономической, так и с экологической стороны [9].

Описание модели взрыва в транспортном тоннеле связано с рядом сложностей:

во-первых, трудно определить место аварийной ситуации ввиду постоянного перемещения транспортного средства по дорожной сети, т.е. подразумеваются нестационарные условия;

во-вторых, транспортное средство является источником повышенной опасности, которая может вызывать неконтролируемое воспламенение;

в-третьих, горение низкомолекулярных углеводородных видов топлива при определенных условиях может переходить в детонацию. Например, в транспортных тоннелях аспект турбулизации может существенно изменить характеристики парогазовоздушного облака, протяженность взрывоопасной зоны, концентрационные пределы воспламенения.

Не до конца остается решенным вопрос о механизме порождения турбулентности при горении углеводородновоздушных смесей в протяженных транспортных тоннелях. Поскольку движение газа в среднем радиальное, генерация турбулентности из-за наличия сдвига поля скорости потока играет существенную роль. При этом сдвиг наблюдается не только по горизонтали, но и по всем поверхностям тоннеля, что подтверждается серией экспериментов, специально направленных на прояснение высокого уровня турбулентности.

В качестве дальнейших перспективных исследований в этой области кафедрой ПГиЭБ поставлены следующие задачи: разработать математическую модель развития взрывных явлений в транспортных тоннелях и турбулизации фронта пламени в зависимости от проектных решений для определения критических показателей взрывных процессов; исследовать развитие взрывного давления с учетом конструктивных особенностей протяженных объектов на пути распространения волны, которая сможет применяться для прогнозирования последствий аварийных выбросов углеводородных видов топлива в транспортных тоннелях.

На кафедре продолжается активная работа и в области защиты объектов нефтяного оборудования от коррозии. Необходимость проведения исследований в данной области вызвали пожары, произошедшие в 2000 и 2002 гг. в Самарской области в резервуарном парке Радаевской установки подготовки нефти. Руководством ОАО «Самаранефтегаз» совместно с Академией ГПС МЧС России было принято решение о разработке специальной системы, исключающей возможность самовозгорания пиррофорных отложений внутри резервуара. Работа данной системы основана на вытеснении инертным газом окислителя из парогазового пространства вертикального стального резервуара (РВС). На основании анализа, проведенного коллективом кафедры ПГиЭБ, предпочтение было отдано газообразному азоту, получаемому разделением воздуха на мембранной установке [10].

При реализации на практике данного метода была сконструирована мембранная газораспределительная установка, извлекающая азот из воздуха. Установка состоит из двух мембранных блоков (основного и резервного) и двух ресиверов для хранения вырабатываемого азота. Это позволяет обеспечивать резервуары азотом во время максимальных нагрузок. Строительство установки было завершено в конце 2003 г., и с тех пор она функционирует в опытном режиме на Самарском нефтехранилище при постоянном контроле скорости коррозии металла и роста пиррофорных отложений [10–12].

Проводились исследования материалов, из которых изготавливаются резервуары. Для этого используются углеродистые и низколегированные стали. Опыты, проводимые в лаборатории кафедры ПГиЭБ, показали, что стойкость данных материалов против локальной и общей коррозии определяется их структурно-фазовым составом. Выявлена связь между наличием в сталях неметаллических включений различного состава и скоростью локальной коррозии [13].

Наиболее распространенный вид стали при изготовлении РВС – сталь марки Ст3. Коллективом кафедры ПГиЭБ проводились регулярные исследования кинетики коррозионного процесса резервуарной стали Ст3 на различных поясах товарных и сырьевых резервуаров с сернистой нефтью и нефтепродуктами, переведенных на эксплуатацию в условиях замены собственной парогазовой фазы на азотную подушку [14].

В дальнейшем научным коллективом кафедры ПГиЭБ были проанализированы результаты 15-летней эксплуатации системы азотной защиты резервуарного парка с сернистой нефтью. Анализ показал, что при азотной защите скорость локальной коррозии внутренней поверхности резервуаров снижается более чем в 100 раз. Также происходит предотвращение дальнейшего образования пиррофорных коррозионных отложений [15].

Пиррофорные коррозионные отложения – один из основных источников пожаров на резервуарах с нефтью. Наиболее опасно образование пиррофорных отложений в РВС для хранения нефти и нефтепродуктов, где их самовозгорание может привести к воспламенению паровоздушной среды и взрыву.

Коллективом кафедры процессов горения и экологической безопасности (ПГиЭБ) проводились исследования пирофорных отложений на поверхности нефтегазового оборудования. Они представляют собой пористые или слоистые образования [16].

Однако способ применения азотной подушки имеет и некоторые недостатки. Высокая стоимость и сложность установки и эксплуатации мембранной газораспределительной установки заставляют задумываться о разработке других способов защиты резервуаров с нефтью и нефтепродуктами.

Широко известен метод защиты РВС от коррозии путем обработки их внутренней поверхности антикоррозионными лакокрасочными покрытиями. Однако современные материалы не обладают требуемой защитной способностью. Поэтому в настоящее время научный коллектив кафедры ПГиЭБ занимается разработкой нового химического состава антикоррозионного лакокрасочного покрытия.

Кафедра принимает активное участие в разработке новых газовых огнетушащих веществ (ГОТВ), не обладающих потенциалом глобального потепления. Работа ведется в двух направлениях: создание принципиально новых короткоживущих ГОТВ и получение высокоэффективных огнетушащих смесей на базе применяемых ГОТВ (хладоны 23, 125, 227ea).

Последнее направление позволяет сократить объемы применения парниковых огнетушащих газов, если смесь эффективнее, чем исходный хладон, а также если добавка в смесь имеет короткое время жизни в атмосфере.

В рамках первого направления проведен расчет времени жизни в атмосфере ряда перспективных веществ. Получено, что время жизни в атмосфере CH_2Br_2 составляет 15,8 дня, CF_2Br_2 – 226 дней, C_6F_{12} (перфторгексен и его циклическая производная) – 17,4 дня. Таким образом, CH_2Br_2 и C_6F_{12} являются веществами, быстро разрушающимися в атмосфере.

Определена огнетушащая концентрация ФОЛ-62, которая составляет 3,5 % об., перфторгексена с активной связью – 3,3 % об., его циклической производной – 3,6 % об. Таким образом, предложены принципиально новые ГОТВ, превосходящие по огнетушащей эффективности ближайший аналог – фторированный кетон ФК 5-1-12, на 18,2–25 % [17].

В целях создания высокоэффективных огнетушащих смесей на базе применяемых ГОТВ с использованием известных кинетических параметров элементарных реакций и значений концентраций активных промежуточных веществ впервые разработан кинетический механизм деструкции в углеводородном пламени фторированных углеводородов – хладона 23 (CF_3H) и хладона 227ea ($\text{C}_3\text{F}_7\text{H}$), позволяющий полностью описать экспериментально наблюдаемую картину их превращения в пламени. На основании разработанного кинетического механизма предложены наиболее эффективные добавки к указанным хладонам, повышающие их огнетушащую эффективность: для хладона 23 – CF_3I , для хладона 227ea – $\text{C}_3\text{F}_7\text{I}$. Экспериментально показано, что, например, для хладона 227ea минимальная огнетушащая концентрация для n-гептана падает с 6,4 до 2,5 % об. (в 2,56 раза) при добавлении всего 5 % масс. $\text{C}_3\text{F}_7\text{I}$.

Также на установке «Цилиндр»³ проведены исследования огнетушащей эффективности смесей ФК 5-1-12 с $\text{C}_4\text{F}_5\text{H}_5$, $\text{C}_3\text{F}_3\text{H}_3$, изомерами перфторгексена, его циклической производной и $\text{C}_3\text{F}_7\text{I}$. Добавки к ФК 5-1-12 снижают его минимальную огнетушащую концентрацию для n-гептана с 4,4 до 3,5–3,7 % об. (в 1,2–1,25 раза) при содержании добавки в смеси с ФК 5-1-12 в количестве 5–20 % масс. Аналогичные эффекты наблюдаются при составлении смесей изомеров перфторгексена, его циклической производной, $\text{C}_4\text{F}_5\text{H}_5$ и $\text{C}_3\text{F}_7\text{I}$ друг с другом.

³ Методика определения минимальной огнетушащей концентрации газовых огнетушащих веществ, находящихся при нормальных условиях в жидкой фазе («метод цилиндра»). – М.: ВНИИПО, 2019. – 4 с.

Таким образом, в рамках разработки новых ГОТВ были найдены принципиально новые газовые огнетушащие вещества и создан ряд высокоэффективных огнетушащих смесей на базе ныне применяемых ГОТВ. Полученные данные могут привести к решению проблем, связанных с отсутствием газовых огнетушащих составов, удовлетворяющих современным экологическим требованиям.

Заключение

Таким образом, с начала своего создания кафедра «Процессы горения и экологической безопасности» занималась одним из самых важных процессов на пожаре – изучением самого горения, без понимания которого не может быть и речи об эффективном тушении. Только с опорой на накопленный за почти полувековое существование кафедры опыт возможно решение задач по обеспечению пожарной безопасности, которые возникают в условиях все более усложняющихся технологий.

На данный момент на кафедре продолжается работа по изучению формирования взрывопожароопасной зоны при аварийном выбросе сжиженного природного газа. Одной из наиболее типичных аварийных ситуаций на объектах с наличием СПГ является пролив продукта, его растекание и образование взрывоопасного газопаровоздушного облака.

Для нужд энергетического комплекса получен широкий спектр пожаробезопасных смесевых композиций хладагентов, отвечающих современным экологическим требованиям: 1) смеси пропана (R-290) с хладагентами 23, 125, 227ea; 2) смеси R-365mfc с C_6F_{12} , $C_6F_{12}O$, CF_3I ; 3) CH_2Cl_2 и $C_2H_4Cl_2$ с пропаном (R-290) и хладагентами 125, 227ea; 4) смеси тетрафторпропена (R-1234yf) с хладагентами 125, 227ea.

Проводится анализ существующих способов обеспечения взрывобезопасности и защиты жилых домов от разрушения при внутреннем дефлаграционном взрыве с выявлением их отличительных особенностей, ведутся эксперименты по установлению динамики изменения параметров взрыва газозвушной смеси стехиометрического состава в зависимости от параметров предохранительных конструкций с целью получения на их основе параметров конструкций, необходимых для обеспечения взрывоустойчивости жилых многоквартирных домов.

Разрабатывается математическая модель развития взрывных явлений в транспортных тоннелях и турбулизации фронта пламени в зависимости от проектных решений для определения критических показателей взрывных процессов. Исследуется развитие взрывного давления с учетом конструктивных особенностей протяженных объектов на пути распространения волны, которая сможет применяться для прогнозирования последствий аварийных выбросов углеводородных видов топлива в транспортных тоннелях.

Ведется активная работа в области защиты объектов нефтяного оборудования от коррозии. В настоящее время научный коллектив кафедры ПГиЭБ занимается разработкой нового химического состава антикоррозионного лакокрасочного покрытия.

Найдены принципиально новые газовые огнетушащие вещества: перфторгексен (два изомера: ФОЛ-62 (соединение с неактивной двойной связью) и изомер с активной двойной связью), а также циклическая производная перфторгексена. Создан ряд высокоэффективных огнетушащих смесей на базе применяемых ГОТВ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Маршалл, В. Основные опасности химических производств: пер. с англ. / В. Маршалл. – М.: Мир, 1989. – 672 с.
2. Шебеко, А.Ю. Численное моделирование распространения паров сжиженного природного газа при проливе на твердую поверхность / А.Ю. Шебеко // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. – 2019. – № 1. – С. 36–41. – DOI: 10.25257/FE.2019.1.36-41. – EDN: AJEVEU.
3. Люгай, Д.В. Обоснование возможных сценариев и оценка последствий утечек сжиженного природного газа при аварийных нарушениях герметичности грузовых емкостей танкеров /

- Д.В. Люгай, В.С. Сафонов // Вести газовой науки: науч.-техн. сб. – 2018. – № 2 (34). – С. 166–176. – EDN: UUXOHY.
4. Сулименко, В. А. Исследование параметров горения сжиженного природного газа / В.А. Сулименко, И.А. Тетерин, Э.Э. Первенов, И.Е. Василенко // Гражданская оборона на страже мира и безопасности: материалы VI Междунар. науч.-практ. конф., посвященной Всемирному дню гражданской обороны. В 4 ч. – М.: АГПС МЧС России, 2022. – Ч. 3. – С. 7–12. – EDN: ISDAVO.
 5. Сулименко, В.А. Параметры горения низкомолекулярных углеводородов при наличии водяного пара / В.А. Сулименко, И.А. Тетерин, А.С. Войтенко // Сжиженный природный газ: проблемы и перспективы: тезисы докл. I Всеросс науч.-практ. конф., Москва, 30 ноября – 1 декабря 2021 г. – М.: РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина, 2021. – С. 104–107.
 6. Монреальский Протокол по веществам, разрушающим озоновый слой Земли [Электронный ресурс] // Ozone Secretariat: ozone.unep.org. – Режим доступа: <https://ozone.unep.org/treaties/montreal-protocol>. – Дата доступа: 25.06.2022.
 7. The Kigali Amendment (2016): The amendment to the Montreal Protocol agreed by the Twenty-Eighth Meeting of the Parties (Kigali, 10–15 October 2016) [Electronic resource] // Ozone Secretariat: ozone.unep.org. – Mode of access: <https://ozone.unep.org/treaties/montreal-protocol/amendments/kigali-amendment-2016-amendment-montreal-protocol-agreed>. – Date of access: 25.06.2022.
 8. Годовой отчет акционерного общества «МОСГАЗ» за 2020 год [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.mos-gaz.ru/upload/dynamic/2021-07/29/MOSGAZ_otchet_2020_int-007fe5c2.pdf. – Дата доступа: 25.06.2022.
 9. Хуснутдинов, Д.З. Аварийные взрывы газоздушных смесей в атмосфере: монография / Д.З. Хуснутдинов [и др.]. – М-во образования и науки Росс. Федерации, Моск. гос. строит. ун-т. – М.: МГСУ, 2014. – 80 с. – EDN: SNTDGP.
 10. Крикунов, А.А. Об обеспечении пожарной и экологической безопасности резервуарных парков с сернистой нефтью / А.А. Крикунов [и др.] // Технические газы. – 2012. – № 1. – С. 62–67. – EDN: SJKMPP.
 11. Способ предотвращения образования пирофорных отложений из серосодержащих нефтепродуктов: пат. RU 2253698 / Л.А. Нисельсон, Ю.А. Бейлин, И.И. Бегишев, Л.И. Филимонов, А.С. Андросов, И.И. Реформатская, А.Б. Ленский, А.К. Раптанов. – Опубл. 10.06.2005.
 12. Бейлин, Ю.А. Коррозионные пирофорные отложения как промоторы самовозгорания резервуаров с сернистой нефтью / Ю.А. Бейлин [и др.] // Защита металлов. – 2007. – Т. 43, № 3. – С. 290–295. – EDN: IAGQIB.
 13. Реформатская, И.И. Роль неметаллических включений и микроструктуры в процессе локальной коррозии углеродистых и низколегированных сталей / И.И. Реформатская [и др.] // Защита металлов. – 2004. – Т. 40, № 5. – С. 498–504. – EDN: OVYDJN.
 14. Шишканов, Б.А. Кинетические закономерности коррозионных процессов на внутренней поверхности резервуаров с сернистой нефтью / Б.А. Шишканов, И.Р. Бегишев, И.И. Реформатская // Материалы 15-й научно-технической конференции «Системы безопасности» – СБ-2006 Международного форума информатизации, 26 октября 2006 г., Москва. – М.: Академия ГПС МЧС России, 2006. – С. 178–180.
 15. Реформатская, И.И. Противокоррозионная защита внутренней поверхности резервуаров с сернистой нефтью как способ предотвращения их самовозгорания / И.И. Реформатская, И.Р. Бегишев, И.И. Ащеулова // Актуальные вопросы электрохимии, экологии и защиты от коррозии: материалы Международной конференции, посвященной памяти профессора, заслуженного деятеля науки и техники РФ В.И. Вигдоровича, Тамбов, 23–25 октября 2019 г. – Тамбов: ТГТУ, 2019. – С. 84–88.
 16. Заседателева, Н.А. Образование пожароопасных пирофорных отложений при коррозии стали в сероводородной газовой среде / Н.А. Заседателева, И.И. Реформатская, А.Н. Подобаев, И.Р. Бегишев // Материалы 14-й научно-технической конференции «Системы безопасности» – СБ-2005 Международного форума информатизации, 27–28 октября 2005 г., Москва. – М.: Академия ГПС МЧС России, 2005. – С. 194–196.
 17. Копылов, П.С. Огнетушащая эффективность перфторизогексенов / П.С. Копылов // Пожарная безопасность, 2021. – № 1. – С. 47–53. – DOI: 10.37657/vniipo.pb.2021.67.54.005. – EDN: HSRDNA.

**Кафедра процессов горения и экологической безопасности
Академии Государственной противопожарной службы МЧС России:
славное прошлое – перспективное будущее**

**Chair of combustion processes and environmental safety of the Academy of State
Fire Service of EMERCOM of Russia: a glorious past – a promising future**

Елтышев Илья Павлович

Академия Государственной противопожарной службы МЧС России, факультет подготовки научно-педагогических кадров, адъюнкт

Адрес: ул. Бориса Галушкина, 4,
129366, г. Москва, Россия

Email: ilin-007@mail.ru

ORCID: 0000-0003-4956-8441

Ilya P. Eltyshev

Academy of State Fire Service of EMERCOM of Russia, Faculty of Training of Scientific and Pedagogical Personnel, adjunct

Address: Borisa Galushkina str., 4,
129366, Moscow, Russia

Email: ilin-007@mail.ru

ORCID: 0000-0003-4956-8441

Копылов Павел Сергеевич

Академия Государственной противопожарной службы МЧС России, факультет подготовки научно-педагогических кадров, адъюнкт

Адрес: ул. Бориса Галушкина, 4,
129366, г. Москва, Россия

Email: pskopylov@mail.ru

ORCID: 0000-0002-3829-0512

Pavel S. Kopylov

Academy of State Fire Service of EMERCOM of Russia, Faculty of Training of Scientific and Pedagogical Personnel, adjunct

Address: Borisa Galushkina str., 4,
129366, Moscow, Russia

Email: pskopylov@mail.ru

ORCID: 0000-0002-3829-0512

Первенев Эдуард Эрднеевич

Академия Государственной противопожарной службы МЧС России, факультет подготовки научно-педагогических кадров, адъюнкт

Адрес: ул. Бориса Галушкина, 4,
129366, г. Москва, Россия

Email: pervenove@mail.ru

ORCID: 0000-0002-2344-0135

Eduard E. Pervenov

Academy of State Fire Service of EMERCOM of Russia, Faculty of Training of Scientific and Pedagogical Personnel, adjunct

Address: Borisa Galushkina str., 4,
129366, Moscow, Russia

Email: pervenove@mail.ru

ORCID: 0000-0002-2344-0135

Петрилин Дмитрий Андреевич

Академия Государственной противопожарной службы МЧС России, факультет подготовки научно-педагогических кадров, адъюнкт

Адрес: ул. Бориса Галушкина, 4,
129366, г. Москва, Россия

Email: petrilind@mail.ru

ORCID: 0000-0002-8482-3703

Dmitry A. Petrilin

Academy of State Fire Service of EMERCOM of Russia, Faculty of Training of Scientific and Pedagogical Personnel, adjunct

Address: Borisa Galushkina str., 4,
129366, Moscow, Russia

Email: petrilind@mail.ru

ORCID: 0000-0002-8482-3703

Тетерин Иван Александрович

Академия Государственной противопожарной службы МЧС России, факультет подготовки научно-педагогических кадров, адъюнкт

Адрес: ул. Бориса Галушкина, 4,
129366, г. Москва, Россия

Email: ivan_teterin3@mail.ru

ORCID: 0000-0002-5469-1383

Ivan A. Teterin

Academy of State Fire Service of EMERCOM of Russia, Faculty of Training of Scientific and Pedagogical Personnel, adjunct

Address: Borisa Galushkina str., 4,
129366, Moscow, Russia

Email: ivan_teterin3@mail.ru

ORCID: 0000-0002-5469-1383

Тимохин Василий Вячеславович

Академия Государственной противопожарной службы МЧС России, факультет подготовки научно-педагогических кадров, адъюнкт

Адрес: ул. Бориса Галушкина, 4,
129366, г. Москва, Россия

Email: private006672@mail.ru

ORCID: 0000-0003-0182-9139

Vasiliy V. Timokhin

Academy of State Fire Service of EMERCOM of Russia, Faculty of Training of Scientific and Pedagogical Personnel, adjunct

Address: Borisa Galushkina str., 4,
129366, Moscow, Russia

Email: private006672@mail.ru

ORCID: 0000-0003-0182-9139

Шангараев Рустам Рашитович

Академия Государственной противопожарной службы МЧС России, факультет подготовки научно-педагогических кадров, адъюнкт

Адрес: ул. Бориса Галушкина, 4,
129366, г. Москва, Россия

Email: robson-rus7@yandex.ru

ORCID: 0000-0002-4300-8366

Rustam R. Shangaraev

Academy of State Fire Service of EMERCOM of Russia, Faculty of Training of Scientific and Pedagogical Personnel, adjunct

Address: Borisa Galushkina str., 4,
129366, Moscow, Russia

Email: robson-rus7@yandex.ru

ORCID: 0000-0002-4300-8366

**CHAIR OF COMBUSTION PROCESSES AND ENVIRONMENTAL SAFETY
OF THE ACADEMY OF THE STATE FIRE SERVICE OF EMERCOM OF RUSSIA:
A GLORIOUS PAST – A PROMISING FUTURE**

**Eltyshev I.P., Kopylov P.S., Pervenov E.E., Petrilin D.A.,
Teterin I.A., Timokhin V.V., Shangaraev R.R.**

Purpose. The purpose of this work is to study and analyze the main areas of scientific activity of the Chair of Combustion Processes and Environmental Safety (as a part of the scientific research complex of Combustion Processes and Environmental Safety) of the State Fire Academy of EMERCOM of Russia.

Methods. In the process of the work, theoretical research methods (review, description, analysis) were applied.

Findings. The paper presents the main stages of the formation of the department of «Combustion Processes and environmental safety». The scientific achievements that have appeared due to the laborious work of the department's staff since its creation are considered. The latest developments of the department in the field of explosion prevention, fire risk reduction, and safety increasing of the technogenic zone are described.

Application field of research. The results of the analysis show the latest developments in the field of ensuring the safe use of liquefied natural gas, the creation of non-flammable refrigerants and new extinguishing agents, reducing the threat of explosion at various facilities, the study of pyrophoric corrosive deposits. This review may be useful to researchers working in similar fields.

Keywords: explosion, safety, refrigerants, fire extinguishing agents, corrosion.

(The date of submitting: July 15, 2022)

REFERENCES

1. Marshall V.C. *Major chemical hazards*: transl. from English. Moscow: Mir, 1989. 672 p. (rus)
2. Shebeko A.Yu. Chislennoe modelirovanie rasprostraneniya parov szhizhennogo prirodnogo gaza pri prolive na tverduyu poverkhnost' [Numerical modeling of liquefied natural gas vapor spread when spilt on a hard surface]. *Fires and emergencies: prevention, elimination*, 2019. No. 1. Pp. 36-41. (rus). DOI: 10.25257/FE.2019.1.36-41. EDN: AJEBEU.
3. Lugai D.V., Safonov V.S. Obosnovanie vozmozhnykh stsenariiev i otsenka posledstviy utechek szhizhennogo prirodnogo gaza pri avariynykh narusheniyakh germetichnosti gruzovykh emkostey tankerov [Substantiation of possible scenarios and assessment of liquefied natural gas spillage after-effects at accidental tightness violation of tanker cargo reservoirs]. *Vesti Gazovoy Nauki: collected scientific and technical papers*, 2018. No. 2 (34). Pp. 166–176. (rus). EDN: UUXOXY.
4. Sulimenko V.A., Teterin I.A., Pervenov E.E., Vasilenko I.E. Issledovanie parametrov goreniya szhizhennogo prirodnogo gaza [Investigation of the combustion parameters of liquefied natural gas]. *Proc. VI Intern. scientific-practical conf. dedicated to World Civil Defense Day «Civil defense on the guard of peace and security»*. In 4 parts. Moscow: Academy of State Fire Service of EMERCOM of Russia, 2022. Part 3. Pp. 7–12. (rus). EDN: ISDAVO.
5. Sulimenko V.A., Teterin I.A., Voytenko A.S. Parametry goreniya nizkomolekulyarnykh uglevodородov pri nalichii vodyanogo para [Combustion processes parameters of low molecular weight hydrocarbons in the presence of water vapor]. *Proc. VI All-Russian scientific-practical conf. «Liquefied natural gas: problems and prospects»*, Moscow, November 30 – December 1, 2021. Moscow: National University of Oil and Gas «Gubkin University», 2021. Pp. 104–107. (rus)
6. The Montreal Protocol on Substances that Deplete the Ozone Layer. Available at: <http://ozone.unep.org/montreal-protocol-substances-deplete-ozone-layer/32506> (accessed: June 25, 2022).
7. The Kigali Amendment (2016): The amendment to the Montreal Protocol agreed by the Twenty-Eighth Meeting of the Parties (Kigali, 10–15 October 2016). Available at: <http://ozone.unep.org/montreal-protocol-substances-deplete-ozone-layer/81853/2197> (accessed: June 28, 2022).
8. Annual Report of Joint Stock Company «MOSGAZ» for 2020. Available at: https://www.mos-gaz.ru/upload/dynamic/2021-07/29/MOSGAZ_otchet_2020_int-007fe5c2.pdf (accessed: June 25, 2022). (rus)

9. Khusnutdinov D.Z., Mishuev A.V., Kazennov V.V., Komarov A.A., Gromov N.V. *Avariynye vzryvy gazovozdushnykh smesey v atmosphere [Emergency explosions of gas-air mixtures in the atmosphere]*: monograph. Moscow: Moscow State University of Civil Engineering, 2014. 80 p. (rus). EDN: SNTDGP.
10. Krikunov A.A., Lensky A.B., Begishev I.R., Androsov A.S., Reformatskaya I.I., Shishkanov B.A. Ob obespechenii pozharnoy i ekologicheskoy bezopasnosti rezervuarnykh parkov s sernistoy neft'yu [On ensuring fire and environmental safety of tank farms with sulfuric oil]. *Industrial Gases*, 2012. No. 1. Pp. 62–67. (rus). EDN: SJKMPP.
11. Nisel'son L.A., Beilin Yu.A., Begishev I.I., Filimonov L.I., Androsov A.S., Reformatskaya I.I., Lensky A.B., Raptanov A.K. *Sposob predotvrashcheniya obrazovaniya pirofornykh otlozheniy iz serosoderzhashchikh nefteproduktov [Method of preventing the formation of pyrophoric deposits from sulfur-containing petroleum products]*: patent RU 2253698. Published June 10, 2005. (rus)
12. Beilin Yu.A., Nisel'son L.A., Begishev I.R., Filimonov L.I., Podobaev A.N., Ascheulova I.I., Reformatskaya I.I. [Corrosive pyrophoric deposits as promoters of spontaneous combustion of tanks with sulfurous oil]. *Protection of metals*, 2007. Vol. 43, No. 3. Pp. 290–295. (rus). EDN: IAGQIB.
13. Reformatskaya I.I., Rodionova I.G., Podobaev A.N., Beilin Yu.A., Nisel'son L.A., Begishev I.R. The role of nonmetallic inclusions and microstructures in the process of local corrosion of carbon and low-alloy steels. *Protection of metals*, 2004. Vol. 40. No. 5. Pp. 447–452. DOI: 10.1023/B:PROM.0000043062.19272.c5. EDN: LINGJH.
14. Shishkanov B.A., Begishev I.R., Reformatskaya I.I. Kineticheskie zakonomernosti korrozionnykh protsessov na vnutrenney poverkhnosti rezervuarov s sernistoy neft'yu [Kinetic patterns of corrosion processes on the inner surface of tanks with sulfurous oil]. *Proc. 15th scientific-technical conf. «Safety systems» – SS-2006 of International informatization forum, October 26, 2006, Moscow*. Moscow: Academy of State Fire Service of EMERCOM of Russia, 2006. Pp. 178–180. (rus)
15. Reformatskaya I.I., Begishev I.R., Ascheulova I.I. Protivokorroziyonnaya zashchita vnutrenney poverkhnosti rezervuarov s sernistoy neft'yu kak sposob predotvrashcheniya ikh samovozgoraniya [Anti-corrosive protection of the inner surface of tanks with sulfurous oil as a way to prevent their spontaneous combustion]. *Proc. Intern. scientific-technical conf. dedicated to the memory of Professor, Honored Worker of Science and Technology of the Russian Federation V.I. Vigdorovich «Topical issues of electrochemistry, ecology and corrosion protection», Tambov, October 23–25, 2019. Moscow*. Tambov: Tambov State Technical University, 2019. Pp. 84–88. (rus)
16. Zasedateleva N.A., Reformatskaya I.I., Podobaev A.N., Begishev I.R. Obrazovanie pozharoopasnykh pirofornykh otlozheniy pri korrozii stali v serovodorodnoy gazovoy srede [Formation of fire-hazardous pyrophoric deposits during corrosion of steel in a hydrogen sulfide gas environment] *Proc. 14th scientific-technical conf. «Safety systems» – SS-2006 of International informatization forum, October 27–28, 2005, Moscow*. Moscow: Academy of State Fire Service of EMERCOM of Russia, 2005. Pp. 194–196. (rus)
17. Kopylov P.S. Ognetchashchaya effektivnost' perflorizogeksenov [Fire extinguishing efficiency of perfluoro-isohexenes]. *Fire safety*, 2021. No. 1 (102). Pp. 47–53. (rus). DOI: 10.37657/vniipo.pb.2021.67.54.005. EDN: HSRDNA.

РОЛЬ И МЕСТО ГРАЖДАНСКОЙ ОБОРОНЫ В СИСТЕМЕ ОБЕСПЕЧЕНИЯ НАЦИОНАЛЬНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ (В КОНТЕКСТЕ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ВОЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ)

Булва А.Д.

Цель. Определить роль и место гражданской обороны (далее – ГО) в системе обеспечения национальной безопасности Республики Беларусь (в контексте военной безопасности).

Методы. В статье использованы общенаучные методы исследования: индукции и дедукции, анализа и синтеза, сравнения и обобщения, аналогии.

Результаты. Выявлена и обоснована диалектическая связь мероприятий ГО и системы обеспечения национальной безопасности Республики Беларусь. В контексте обеспечения военной безопасности ГО реализует меры стратегического сдерживания и является составной частью оборонных мероприятий.

Область применения исследований. Результаты исследования являются вкладом в развитие теории ГО, прежде всего представлений о ее роли и месте в системе обеспечения национальной безопасности. Результаты исследования могут быть использованы при разработке и переработке нормативных правовых актов, включая Концепцию национальной безопасности, Военную доктрину, Закон «О гражданской обороне», Закон «Об обороне» в части уточнения мероприятий и направлений государственной политики в области ГО.

Ключевые слова: военная безопасность, война, гражданская оборона, законы вооруженной борьбы, законы войны, национальная безопасность, оборона, стратегическое сдерживание.

(Поступила в редакцию 1 июня 2022 г.)

Введение

В настоящее время в мире складывается сложная геостратегическая и военно-политическая обстановка, обостряющая внешние и внутренние угрозы национальной безопасности нашей страны. В условиях глобального передела сфер влияния в мире США посредством военно-политического блока НАТО с использованием механизма геополитической инженерии пытается обеспечить свое единоличное доминирование через развязывание хаоса в государствах через организацию и проведение войн и вооруженных конфликтов, цветных революций, террористических актов, акций по устрашению населения, агрессивной информационной пропаганды, разрушение экономик и экономических связей государств [1; 2].

Конфликт России и Украины в этом отношении является не исключением, а, скорее, наоборот, следствием геополитического противостояния с одной стороны коллективного Запада во главе с США и России – с другой. Многие аналитики и ученые предполагают, что этот конфликт может стать международным и даже планетарным [1; 3; 4]. Ряд существующих условий и факторов явно указывают на возможную подготовку Запада к агрессии против Беларуси и России¹:

- разрушена система безопасности, достигнутая после распада Советского Союза;
- обесценены и даже денонсированы в одностороннем порядке ряд международных договоров и соглашений;
- активизирована милитаризация Польши, Украины, Литвы;

¹ Мощный анализ от Лукашенко. Президент четко разложил предпосылки событий в Украине [Электронный ресурс] // БЕЛТА. – Режим доступа: <https://www.belta.by/president/view/moschnyj-analiz-ot-lukashenko-prezident-chetko-razlozil-predposylki-sobytij-v-ukraine-487805-2022/>. – Дата доступа: 23.05.2022.

– национальные вооруженные силы военно-политического блока НАТО наращивают финансирование, которое уже перешагнуло в ряде случаев отметку 2 % от ВВП. Например, только США увеличили военный бюджет в 2022 г. на 4 % (почти \$770 млрд);

– на границе с Беларусью увеличилось количество мероприятий по оперативной и боевой подготовке сил НАТО с отработкой задач наступательного характера;

– активно готовится военная инфраструктура (аэродромы, порты, базы хранения, транспортные коммуникации) к приему крупных группировок войск².

Кроме того, серьезные изменения произошли в белорусско-украинских отношениях, где практически прекратился межгосударственный диалог на высшем и высоком уровнях, в Украине фактически заблокированы белорусские информационные каналы, растет анти-белорусская риторика в информационной среде, введены запреты на импорт белорусской электроэнергии, поставку целого ряда товаров, включая калийные удобрения, небо закрыто для белорусской гражданской авиации. Кроме того, активно ведется пропаганда нацистских идей, уничтожение исторической памяти, русской культуры и языка.

В данных условиях противостоять внешним вызовам и угрозам можно лишь при наличии действенных государственных механизмов, которые находят отражение в системе обеспечения национальной безопасности, выполняющей роль государственного «иммунитета». Гражданская оборона является одним из инструментов противодействия внешним и внутренним угрозам, реализуя присущие ей способы, формы и методы защиты личности, общества и государства. С учетом специфики осуществляемых мероприятий такая форма противодействия, как ГО, находит отражение во всех сферах национальной безопасности. Недооценка возможностей, роли и места ГО в системе национальной безопасности может привести к негативным последствиям для государства. В контексте указанных вызовов и угроз для нашей страны представляется целесообразным рассмотреть ГО как инструмент достижения национальных интересов именно в сфере военной безопасности.

Основная часть

Глава Республики Беларусь Александр Григорьевич Лукашенко на заседании Совета безопасности, состоявшегося 7 апреля 2022 г., заявил³: «Хочу вас заверить, что Беларусь и дальше будет жесточайшим образом отстаивать свои национальные интересы. Пока еще сомневающиеся союзники должны понять: без скорейшего сплочения нашей цивилизации, без укрепления политических, экономических и военных связей нас завтра может не быть. Не будет просто».

Обеспечение национальных интересов в любом государстве, в том числе Республике Беларусь, «осуществляется посредством реализации следующих стратегических приоритетов:

- оборона;
- государственная и общественная безопасность;
- качество и уровень жизни граждан;
- экономический рост;
- научно-технологическое развитие и образование;
- здравоохранение;
- культура;
- экология и природопользование;
- стратегическая стабильность и равноправное партнерство» [5].

² Лукашенко предупредил о риске планетарного конфликта [Электронный ресурс] // БЕЛТА. – Режим доступа: <https://www.rbc.ru/politics/01/03/2022/621ddb769a7947de077ceb0d/>. – Дата доступа: 23.05.2022.

³ Лукашенко сделал предупреждение сомневающимся союзникам [Электронный ресурс] // БЕЛТА. – Режим доступа: <https://www.belta.by/president/view/lukashenko-sdelal-preduprezhdenie-somnevajuschimsja-sojuznikam-494730-2022/>. – Дата доступа: 23.05.2022.

При этом страна свои национальные интересы обеспечивает и отстаивает «всеми имеющимися в ее распоряжении средствами: дипломатическими, идеологическими, политическими, экономическими, военными. Последним средством является угроза применения или реальное применение силы вплоть до объявления войны [6, с. 78]. Как отмечает в работе [3] профессор Н.В. Карпилена, «самым эффективным средством сохранения мира и недопущения войны является реализация фундаментального принципа международных отношений – поддержание баланса сил, т.е. равновесия между государствами. Достижение баланса сил предполагает деятельность государства на национальном уровне (наращивание военной, экономической мощи, содействие научно-техническому прогрессу, развитие социальных институтов и социальных программ, идеологическая работа) и международном (создание коалиции союзников, ослабление противников)». Дисбаланс сил, прежде всего в военной сфере, в сочетании с проблемами в международных отношениях может стать отправной точкой для зарождения войны (вооруженного конфликта).

Ход и исход войны определяют объективно действующие законы войны, в основе которых находятся соотношения военных, экономических, научно-технических, социальных и духовных потенциалов (факторов) противоборствующих сторон [7].

Составной частью национальной безопасности является военная, обеспечение которой исторически является важнейшей задачей государства, о чем свидетельствует вся мировая и отечественная история.

Анализ действующих Концепции национальной безопасности⁴, Военной доктрины⁵ Республики Беларусь, Закона «Об обороне»⁶ и Закона «О гражданской обороне»⁷ позволяет заключить, что требуемый уровень военной безопасности страны достигается двумя основными способами. Первый – следует из содержания основных законов войны, т.е. достижение максимального баланса потенциалов в сферах, отражающих содержательную часть этих законов. В Концепции национальной безопасности совокупность условий и факторов, характеризующих возможности экономики, состояние духовных сил и уровень военной мощи государства и его вооруженных сил объединены понятием «оборонный потенциал». В этом случае требуемый уровень военной безопасности достигается за счет нулевой или отрицательной «движущей силы» законов войны или разницы оборонных потенциалов страны-агрессора и Республики Беларусь. В Концепции национальной безопасности (ст. 55) нулевая «движущая сила» соотносится с принципом стратегического сдерживания потенциальной агрессии или балансом сил в международных отношениях.

В национальном законодательстве под стратегическим сдерживанием понимается «комплекс предпринимаемых государством согласованных политических, экономических, научно-технических, военных, идеологических, социальных и других мер, направленных на сдерживание потенциального противника, демонстрацию решимости защищать независимость, территориальную целостность, суверенитет и конституционный строй Республики Беларусь, предотвращение военных угроз» (Военная доктрина Республики Беларусь, ст. 4).

⁴ Об утверждении Концепции национальной безопасности Республики Беларусь [Электронный ресурс]: Указ Президента Респ. Беларусь, 9 нояб. 2010 г., № 575 // Национальный правовой Интернет-портал Респ. Беларусь. – Режим доступа: <https://pravo.by/document/?guid=3871&p0=P31000575>. – Дата доступа: 23.05.2022.

⁵ Об утверждении Военной доктрины Республики Беларусь: Закон Респ. Беларусь, 20 июля 2016 г., № 412-3 // Нац. правовой Интернет-портал Республики Беларусь, 26.07.2016, 2/2410 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.pravo.by/document/?guid=3961&p0=N11600412>. – Дата доступа: 23.05.2022.

⁶ Об обороне [Электронный ресурс]: Закон Респ. Беларусь, 3 нояб. 1992 г., № 1902-XII // Информационно-поисковая система «ЭТАЛОН-ONLINE». – Режим доступа: <https://etalonline.by/document/?regnum=V19201902>. – Дата доступа: 23.05.2022.

⁷ О гражданской обороне [Электронный ресурс]: Закон Респ. Беларусь, 27 нояб. 2006 г., № 183-3 // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. – Режим доступа: <https://pravo.by/document/?guid=3961&p0=N10600183>. – Дата доступа: 23.05.2022.

Стратегическое сдерживание потенциальной агрессии осуществляется через реализацию национальных интересов в различных сферах национальной безопасности, прежде всего в военной сфере, которые включают⁸:

- «укрепление в обществе чувства патриотизма, готовности к защите национальных интересов Республики Беларусь;
- эффективное стратегическое сдерживание, обеспечивающее поддержание мира, региональной безопасности и предотвращение угрозы применения военной силы против Республики Беларусь;
- обеспечение защиты независимости, территориальной целостности, суверенитета республики в случае применения против нее военной силы или угрозы силой;
- развитие военной организации государства, поддержание уровня оборонного потенциала, соответствующего возможностям государства и достаточного для решения задач мирного и военного времени;
- укрепление международных и региональных механизмов обеспечения военной безопасности, партнерства и доверия;
- последовательное развитие и укрепление военного и военно-технического сотрудничества с Российской Федерацией;
- повышение эффективности Организации Договора о коллективной безопасности».

Второй способ обеспечения военной безопасности заключается в реализации мер, способных ослабить негативные последствия вероятного военного конфликта. Основные мероприятия и порядок их реализации определяются через содержание законов вооруженной борьбы. Цель соответствующих мероприятий – обеспечить вооруженную защиту государства в случае развязывания против него военной агрессии.

В действующей Концепции национальной безопасности и в Военной доктрине Республики Беларусь мероприятия, направленные на обеспечение вооруженной защиты страны, объединены в понятие «оборона», подготовка к которой составляет важнейшую задачу государства. Оборона включает систему правовых, политических, экономических, военных, социальных и иных мер, обеспечивающих военную безопасность страны (Закон «Об обороне», ст. 1).

Анализ понятий «стратегическое сдерживание» и «оборона» позволяет заключить, что ГО в обеспечении военной безопасности страны выступает и как элемент стратегического сдерживания, а значит, и как инструмент достижения национальных интересов в сфере военной безопасности, и как составная часть оборонных мероприятий.

Для реализации государственной политики в области ГО постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 9 декабря 2013 г.⁹ № 1051 определены основные направления в сферах, обозначенных в Концепции национальной безопасности Республики Беларусь, в том числе в сфере военной безопасности. Принятый нормативный правовой акт отражает существенные связи между ГО и национальной безопасностью в целом [8]. В частности, в военной сфере государственной политикой в области ГО закреплена цель – совершенствование методов и способов защиты населения, материальных и культурных ценностей от опасностей, возникающих при ведении военных действий или вследствие этих действий. Для достижения цели определены семь задач:

- «оптимизация номенклатуры и объемов накопления средств индивидуальной защиты;
- формирование мобильного резерва средств индивидуальной защиты и порядка его задействования;

⁸ См. сноску 4.

⁹ Об утверждении основных направлений реализации государственной политики в области гражданской обороны [Электронный ресурс]: постановление Совета Министров Респ. Беларусь, 9 дек. 2013 г., № 1051 // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. – Режим доступа: <https://pravo.by/document/?guid=3871&p0=C21301051>. – Дата доступа: 23.05.2022.

- вовлечение в хозяйственный оборот защитных сооружений в целях поддержания их в готовности по назначению;
- развитие строительства сооружений двойного назначения;
- обеспечение готовности к действию сил и средств, предназначенных для проведения аварийно-спасательных и других неотложных работ;
- создание и содержание запасов материально-технических, продовольственных, медицинских и иных средств, необходимых для выполнения мероприятий гражданской защиты;
- совершенствование взаимодействия органов управления и сил ГО и территориальной обороны при решении поставленных задач».

Не умаляя значения сформулированного направления деятельности и задач по его достижению, следует все же отметить, что они не только имеют очень поверхностную связь друг с другом (возможно, лишь в части совершенствования некоторых способов защиты населения), но и не в полной мере соотносятся с национальными интересами в военной сфере, где гражданская оборона, как уже отмечалось ранее, является и элементом стратегического сдерживания, и составной частью оборонных мероприятий. Фактически на отсутствие данных связей указывает и то, что направления деятельности государственной политики в сфере ГО сформулированы без учета положений Военной доктрины Республики Беларусь (ссылки на нее в постановлении Совета Министров Республики Беларусь от 9 декабря 2013 г.¹⁰ № 1051 отсутствуют [8]), не учтены и положения Военной доктрины Союзного государства¹¹.

Понятие стратегического сдерживания включает три направления, каждое из которых реализуется через систему мер и мероприятий:

1) *сдерживание потенциального противника*, заключающееся в угрозе возмездия за разного рода действия, угрожающие жизненно важным интересам нашей страны, и направленное на недопущение таких действий¹². При этом сдерживание является успешным тогда, когда потенциальный противник считает, что вероятность успеха низкая, а затраты на военную агрессию высокие. Мероприятия ГО по своей природе носят конструктивный характер и призваны минимизировать возможный ущерб экономике, потери среди населения в случае военной агрессии [7]. Реализованные мероприятия ГО потребуют от вероятного противника для достижения поставленных военных целей применения большего количества ресурсов, сил и средств, что может послужить дополнительным фактором или условием, удерживающим противника от развязывания военной агрессии (характерным примером может являться Советский период времени, когда на Западе именно с такой позиции воспринималась система защиты населения, реализованная в государстве и направленная на минимизацию последствий от вероятной ядерной войны). Сдерживание, как аспект системы ГО, достигается в основном через совершенствование методов и способов защиты населения, материальных и культурных ценностей от опасностей, возникающих при ведении военных действий или вследствие этих действий;

2) *демонстрация решимости защитить независимость, территориальную целостность, суверенитет и конституционный строй Республики Беларусь* – ядро убедительного стратегического сдерживания в политике национальной безопасности. Демонстрация сил и возможностей страны осуществляется в условиях мирного времени, обострения противоречий и в ходе вооруженных конфликтов.

¹⁰ См. сноску 9.

¹¹ О военной доктрине Союзного государства [Электронный ресурс]: постановление Высшего государственного Совета Союзного государства, 4 нояб. 2021 г., № 5 // КонсультантПлюс. Беларусь / ООО «ЮрСпектр», Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2022.

¹² Стратегическое сдерживание в политике нацбезопасности РФ [Электронный ресурс] / ВИПЕРСОН. – Режим доступа: <http://viperson.ru/articles/strategicheskoe-sderzhivanie-v-politike-natsbezopasnosti-rf/>. – Дата доступа: 23.05.2022.

Возможными формами демонстрации возможностей ГО являются:

- участие в проведении совместных с Российской Федерацией военных учений, маневров, парадов, учений по ликвидации последствий применения средств поражения; отработка эвакуационных мероприятий, в том числе с отселением и эвакуацией материальных и историко-культурных ценностей на территорию союзного государства;
 - проведение ведомственных показательных учений по защите населения и объектов экономики от средств поражения, широкое освещение результатов в средствах массовой информации;
 - выставки средств ГО, включая аварийно-спасательную технику и оборудование;
 - демонстрация возможностей сил и средств ГО при выполнении задач по защите населения и территории в условиях военного времени, испытания новых образцов и видов аварийно-спасательной техники и т.д.;
 - демонстрация всеобщей подготовленности и вовлеченности населения в реализацию мероприятий ГО;
 - пиар-кампании и широкое освещение в средствах массовой информации возможностей ГО, состояния защищенности населения, например состояния инженерной защиты населения, обеспечение устойчивости функционирования организаций в условиях применения средств поражения;
- 3) *предотвращение военных угроз* – заключается в реализации комплекса мер по обеспечению военной безопасности, укреплению и эффективном функционировании военной организации государства¹³. В области ГО такими мерами могут являться:
- определение направлений и приоритетов строительства ГО на ближайшую, среднесрочную и долгосрочную перспективу (например, целесообразна разработка Стратегии развития ГО, плана основных мероприятий по ее реализации);
 - своевременное, детальное и адекватное планирование защитных мероприятий в соответствии со складывающейся военно-политической обстановкой, экономическими возможностями государства;
 - поддержание в любых условиях обстановки структурных элементов ГО в готовности к эффективному решению задач, учитывающих возможные последствия нанесения ударов вероятным противником;
 - определение рациональной структуры, численности и состава сил и средств ГО (полагаем целесообразным выполнить разработку Положения о системе управления ГО, типовых положений о штабах ГО на территориальном и местном уровнях);
 - реализация государственной политики по укреплению в обществе чувства патриотизма и готовности защищать национальные интересы через участие в мероприятиях ГО, которая может быть эффективной только в том случае, когда она основана на самодисциплине и ответственности за свои действия всех граждан, органов управления и организаций [9]. Данная мера преследует цель добиться осознания этой ответственности как широкими кругами населения, государственными органами управления, организациями, так местными исполнительными и распорядительными органами;
 - совершенствование законодательства в области ГО, его гармонизация с законодательством Российской Федерации;
 - поддержание ГО в готовности к развертыванию в установленные сроки и эффективному выполнению задач по предназначению;
 - определение финансовых и материально-технических потребностей, необходимых для обеспечения функционирования ГО;
 - принятие комплекса исчерпывающих мер по обеспечению устойчивой работы организаций оборонного сектора экономики и организаций, обеспечивающих жизнедеятельность

¹³ См. сноску 5.

тельность населения в условиях военного времени (комплексная защита организаций, подлежащих переводу на работу в условиях военного времени);

– развитие ГО как научного направления, разработка новых технологий по проведению аварийно-спасательных работ в очагах поражения и обеспечению защиты населения от опасностей, возникающих при ведении действий или вследствие этих действий;

– формирование единой системы ГО в рамках Союзного государства, расширение задач и функций в части ГО Межгосударственным Советом по чрезвычайным ситуациям, укрепление научно-технического и военно-научного сотрудничества в сфере ГО с Российской Федерацией;

– создание региональной группировки сил и средств для ликвидации последствий применения противником средств поражения на территории Союзного государства (аналогично Корпусу сил Содружества Независимых Государств);

– реализация международных договоров и соглашений, заключение новых в области ГО;

– обеспечение эффективной работы сил и средств органов и подразделений по чрезвычайным ситуациям.

Оборона Республики Беларусь реализуется через систему правовых, политических, экономических, военных, социальных и иных мер, обеспечивающих военную безопасность страны¹⁴.

Согласно законодательству основные направления обороны:

– мероприятия, проводимые Вооруженными силами Республики Беларусь;

– территориальная оборона, а также мероприятия, проводимые другими войсками и воинскими формированиями;

– гражданская оборона;

– иные меры, целью которых является обеспечение основных направлений обороны в условиях военной агрессии, в том числе проводимые другими войсками и воинскими формированиями.

Следует обратить особое внимание на термин «*оборона*» и применяемое в определении понятие «*система*». Согласно Большому Российскому энциклопедическому словарю [10] под системой понимается множество элементов, находящихся в отношениях и связях друг с другом, которое образует определенную целостность, единство. Другими словами, планирование и реализация оборонных мероприятий должны находиться в тесной взаимосвязи. Концептуально система оборонных мероприятий в Республике Беларусь может быть проиллюстрирована следующим образом (рис. 1).

Ключевое значение в системе выполняет, безусловно, вооруженная защита государства, которая основывается прежде всего на законах вооруженной борьбы и военного управления, из которых следуют принципы военного искусства, положения уставов, нормативы и т.д. Наличие взаимосвязей между оборонными мероприятиями (согласно определению) приводит к тому, что законы вооруженной борьбы и законы военного управления определяют и влияют на реализацию других оборонных мер, включая мероприятия ГО [7]. Поэтому важный аспект для реализации обороны – определение ее единых принципов реализации (не только принципов экономического обеспечения), которые на сегодня ни в Законе «Об обороне», ни в Военной доктрине Республики Беларусь явно не сформулированы, что не только является сдерживающим фактором при планировании соответствующих мер, включая мероприятия ГО, но и приводит к определенным паралогизмам в действиях уполномоченных должностных лиц [11]. С учетом того что Военная доктрина является и составной частью проводимой военной политики, и ее научно-теоретическим обоснованием [12], вполне обосновано было бы соответствующие принципы обороны закрепить именно в этом программном нормативном правовом акте.

¹⁴ См. сноску 6.

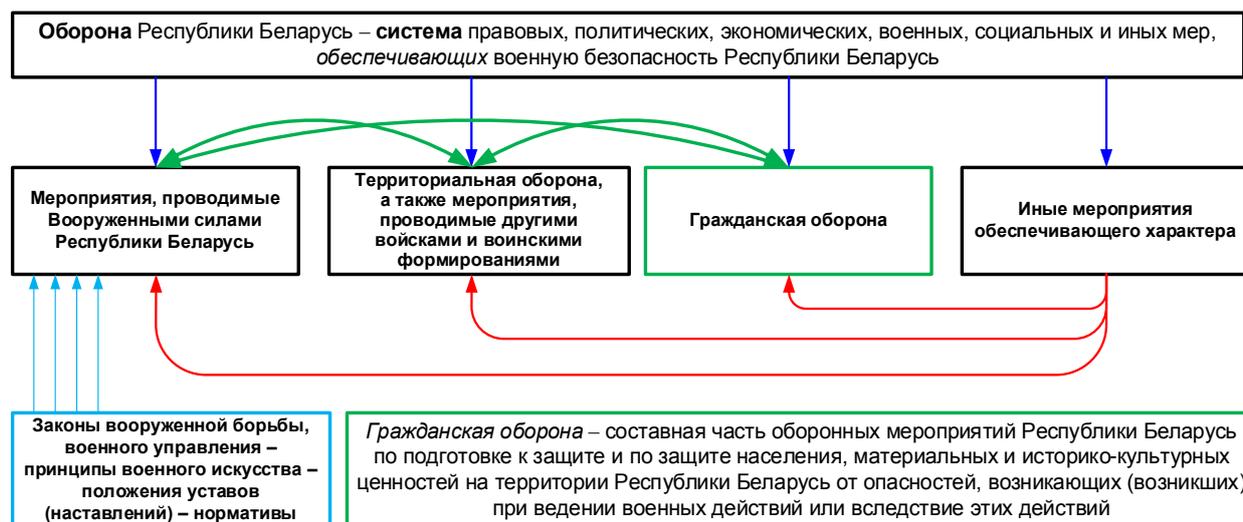


Рисунок 1. – Система оборонных мероприятий Республики Беларусь

Разработка и нормативное закрепление принципов обороны позволит выработать системный взгляд на оборону государства в целом, а также уточнить и определить порядок реализации соответствующих мероприятий во взаимосвязи, в частности, мероприятий ГО, включая:

- зонирование территорий по степени опасности и категорирование (ранжирование) организаций по ГО;
- комплексную защиту организаций, подлежащих переводу на работу в условиях военного времени;
- построение и управление ГО;
- организацию эвакуационных мероприятий, включая планирование отселения населения, эвакуацию материальных и историко-культурных ценностей;
- организацию инженерной защиты населения (определение порядка строительства защитных сооружений и требований к их защитным свойствам);
- организацию маскировки населенных пунктов и организаций;
- обеспечение населения средствами индивидуальной защиты;
- состав и укомплектование сил ГО;
- проведение аварийно-спасательных и других неотложных работ в очагах поражения;
- организацию взаимодействия органов управления гражданской, территориальной обороны, вооруженных сил Республики Беларусь.

Приведенные рассуждения о роли и месте ГО в обеспечении военной безопасности государства позволяют прийти к заключению о недостаточном перечне индикаторов, характеризующих состояние военной безопасности, которых в действующей Концепции национальной безопасности Республики Беларусь (ст. 65) определено два и которые не соотносятся с другими оборонными мероприятиями:

- обеспеченность военными кадрами;
- оснащенность Вооруженных сил современным вооружением, военной и специальной техникой.

Представляется возможным дополнить указанные индикаторы такими, как:

- состав и оснащенность сил ГО современной аварийно-спасательной техникой и оборудованием, в том числе обеспечение сети наблюдения и лабораторного контроля современными автоматизированными средствами мониторинга и сбора информации;
- подготовленность населения и органов управления к действиям в условиях применения обычных средств поражения;
- состояние инженерной, медицинской, радиационной и химической защиты населения;

- состояние системы связи, оповещения и информирования о чрезвычайных ситуациях;
- состояние комплексной защиты организаций, подлежащих переводу на работу в условиях военного времени;
- обеспеченность населения средствами индивидуальной защиты;
- состояние государственного и мобилизационного резервов, резервов материально-технических ресурсов для ликвидации чрезвычайных ситуаций.

Предлагаемые индикаторы целесообразно предусмотреть в постановлении Совета Министров от 9 декабря 2013 г. № 1051¹⁵, определяющем основные направления государственной политики в области ГО.

Заключение

Целью государственной политики в области ГО является обеспечение защищенности личности, общества, государства от чрезвычайных ситуаций и опасностей военного времени¹⁶. Сущность защищенности от чрезвычайных ситуаций и опасностей военного времени имеет множество аспектов, один из которых – обеспечение военной безопасности. Смысл мероприятий ГО в этом отношении достаточно четко был сформулирован в середине прошлого века Эрихом Хампе, занимавшем после Второй мировой войны должность первого президента Федерального агентства гражданской обороны Германии: «Даже самая совершенная гражданская оборона никогда не в состоянии возмещать проигранные сражения. С точки зрения взаимодействия военной и гражданской обороны значение последней состоит в том, чтобы при любом изменении военной обстановки обеспечить действующему фронту необходимую поддержку, в которой он нуждается, и проведением соответствующих мероприятий не допустить парализации тыла страны за еще несокрушенным фронтом» [9].

Следует отметить, что в действующем национальном законодательстве не установлен приоритет одних оборонных мероприятий по отношению к другим, т.е. по умолчанию они все являются равнозначными. Вместе с тем вполне очевидно, что такой подход не приемлем. В условиях войны баланс интересов личности, общества, государства смещается в сторону государства и общества, где ключевое значение приобретает вооруженная защита. Поэтому, рассматривая оборонные мероприятия по уровню значимости, а также допуская приближение соотношения различных направлений обороны к золотой пропорции [13] и рассматривая их как оборонную триаду, последние могут быть представлены в следующем сочетании:

- 50 % – мероприятия, проводимые Вооруженными силами Республики Беларусь;
- 30 % – территориальная оборона, а также мероприятия, проводимые другими войсками и воинскими формированиями;
- 20 % – гражданская оборона.

Последнее обстоятельство (которое вполне можно рассматривать как один из принципов обороны), а также задачи по сдерживанию потенциального противника указывают на то, что основной объем мероприятий ГО все же должен быть реализован в мирное время, т.к. усилия и ресурсы в период войны концентрируются на обеспечении вооруженной защиты государства.

Таким образом, проведенные исследования и выполненный анализ законодательства Республики Беларусь в сфере обеспечения национальной безопасности (в контексте военной безопасности) позволяют судить о наличии обстоятельств, требующих учета при пересмотре положений Концепции национальной безопасности, Военной доктрины Республики Беларусь, Закона «Об обороне» и Закона «О гражданской обороне». Ряд сформулированных предложений в сфере ГО как составной части оборонных мероприятий основывается

¹⁵ См. сноску 9.

¹⁶ См. сноску 9.

на целях создания Союзного государства между Беларусью и Россией, которые в соответствии с заключенным Договором требуют проведения согласованной внешней политики и политики в области обороны, в том числе ГО, обеспечении безопасности Союзного государства [14].

Кроме того, вполне очевидно, что сегодня назрела необходимость в разработке таких концептуальных документов, как Стратегия развития ГО, Положение о системе управления ГО, Положение о штабах гражданской обороны территориального уровня и др. Требуют актуализации положения законодательства, затрагивающие государственную политику, задачи и функции в области ГО.

ЛИТЕРАТУРА

1. Карпиленя, Н.В. О диалектике войны в контексте современных типов информационных «войн» и методов информационно-психологического противоборства / Н.В. Карпиленя // Архонт. – 2022. – № 1 (28). – С. 29–42. – EDN: RXQCZP.
2. Костров, А.В. Геополитика: учеб.-метод. пособие / А.В. Костров. – Иркутск: ИГУ, 2015. – 119 с.
3. Карпиленя, Н.В. О принципах международных отношений и последствиях нарушения базового из них – баланса сил на военную безопасность Союзного государства / Н.В. Карпиленя // Архонт. – 2020. – № 3 (18). – С. 42–59. – EDN: ННFEPR.
4. Карпиленя, Н.В. Геополитические аспекты строительства мощного евразийского государства. Мировоззренческие, духовные, военные, социально-политические аспекты современности: монография / Н.В. Карпиленя. – Минск: ГУО «ИПС РБ», 2016. – 286 с.
5. Кузьмин, А.А. Национальная безопасность, роль и место гражданской обороны в системе ее обеспечения / А.А. Кузьмин, В.В. Панченков, В.В. Симонов // Вестник Университета гражданской защиты МЧС Беларуси. – 2018. – Т. 2, № 2. – С. 243–255. – DOI: 10.33408/2519-237X.2018.2-2.243. – EDN: XPAHKP.
6. Карпиленя, Н.В. Теоретические основы многополярного мира: евразийский взгляд из Союзного государства: монография / Н.В. Карпиленя. – М.: ИД «Архонт», 2020. – 426 с.
7. Булва, А.Д. Законы вооруженной борьбы как научно-теоретическая основа комплексной защиты организаций, подлежащих переводу на работу в условиях военного времени / А.Д. Булва // Вестник Университета гражданской защиты МЧС Беларуси. – 2022. – Т. 6, № 1. – С. 103–118. – DOI: 10.33408/2519-237X.2022.6-1.103. – EDN: WTTLWY.
8. Карпиленя, Н.В. Военная доктрина как научно-теоретическая основа совершенствования гражданской обороны / Н.В. Карпиленя, А.Д. Булва // Вестник Университета гражданской защиты МЧС Беларуси. – 2019. – Т. 3, № 2. – С. 178–194. – DOI 10.33408/2519-237X.2019.3-2.178. – EDN: GOCWJC.
9. Хампе, Э. Стратегия гражданской обороны / Э. Хампе. – М.: Издательство иностранной литературы, 1958. – 132 с.
10. Система // Большой Российский энциклопедический словарь. – М.: БРЭ, 2003. – С. 1437.
11. Булва, А.Д. Комплексная защита организаций, подлежащих переводу на работу в условиях военного времени / А.Д. Булва, Е.А. Безносик, А.В. Лебедкин // Вестник Университета гражданской защиты МЧС Беларуси. – 2020. – Т. 4, № 1. – С. 59–73. – DOI 10.33408/2519-237X.2020.4-1.59. – EDN: GXLWHX.
12. Ксенофонтов, В.А. Военно-доктринальные взгляды на оборону страны / В.А. Ксенофонтов // Гуманитарные проблемы военного дела. – 2017. – № 2 (11). – С. 36–46. – EDN: YUDZGV.
13. Шмигевский, Н.В. Формула совершенства / Н.В. Шмигевский // Страна знаний. – 2010. – № 4. – С. 2–7.
14. Карпиленя, Н.В. Об историческом и политическом процессе, ошибках многовекторности и нейтралитета в Беларуси и первоочередных военно-политических мерах для укрепления Союзного государства и русской цивилизации / Н.В. Карпиленя // Большая Евразия: Развитие, безопасность, сотрудничество. Ежегодник. Вып. 3, в 2 ч. – М., 2020. – Вып. 3. Ч. 2. – С. 85–93. – EDN: PFZIII.

Роль и место гражданской обороны в системе обеспечения национальной безопасности Республики Беларусь (в контексте обеспечения военной безопасности)

The role and place of civil defense in the system of ensuring national security of the Republic of Belarus (in the context of ensuring military security)

Булва Александр Дмитриевич

Государственное учреждение образования «Университет гражданской защиты Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь», кафедра гражданской защиты, доцент

Адрес: ул. Машиностроителей, 25, 220118, г. Минск, Беларусь

e-mail: bulva@list.ru

ORCID: 0000-0001-9887-8759

Aleksandr D. Bulva

State Educational Establishment «University of Civil Protection of the Ministry for Emergency Situations of the Republic of Belarus», Chair of Civil Protection, Associate Professor

Address: Mashinostroiteley str., 25, 220118, Minsk, Belarus

e-mail: bulva@list.ru

ORCID: 0000-0001-9887-8759

**THE ROLE AND PLACE OF CIVIL DEFENSE IN THE SYSTEM
OF ENSURING NATIONAL SECURITY OF THE REPUBLIC OF BELARUS
(IN THE CONTEXT OF ENSURING MILITARY SECURITY)**

Bulva A.D.

Purpose. To determine the role and place of civil defense in the system of ensuring the national security of the Republic of Belarus (in the context of military security).

Methods. General scientific research methods: induction and deduction, analysis and synthesis, comparison and generalization, analogy are used in the article.

Findings. The dialectical connection between civil defense activities and the system of ensuring the national security of the Republic of Belarus has been revealed and substantiated. In the context of ensuring military security, the Civil Defense implements measures of strategic deterrence, and is an integral part of defense measures.

Application field of research. The results of the study are a contribution to the development of the theory of civil defense, first of all, concerning its role and place in the national security system. The results of the study can be used in the development and revision of regulatory legal acts, including the National Security Concept, the Military Doctrine, the Law «On Civil Defense», the Law «On Defense» in terms of clarifying the measures and directions of state policy in the field of civil defense.

Keywords: military security, war, civil defense, laws of armed struggle, laws of war, national security, strategic deterrence.

(The date of submitting: June 1, 2022)

REFERENCES

1. Karpilenya N.V. O dialektike voyny v kontekste sovremennykh tipov informatsionnykh «voyn» i metodov informatsionno-psikhologicheskogo protivoborstva [On the dialectics of war in the context of modern types of information «wars» and methods of information-psychological combat]. *Archont*, 2022. Vol. 28, No. 1. Pp. 29–42. (rus). EDN: RXQCZP.
2. Kostrov A.V. *Geopolitika [Geopolitics]: teaching aid*. Irkutsk: ISU, 2015. 119 p. (rus)
3. Karpilenya N.V. O printsipakh mezhdunarodnykh otnosheniy i posledstviyakh narusheniya bazovogo iz nikh – balansa sil na voennuyu bezopasnost' Soyuznogo gosudarstva [On the principles of international relations and the consequences of the violation of the balance of power on military security Union State]. *Archont*, 2020. Vol. 18, No. 3. Pp. 42–59. (rus). EDN: HHFEPR.
4. Karpilenya N.V. *Geopoliticheskie aspekty stroitel'stva moshchnogo evraziyskogo gosudarstva. Mirovozzrencheskie, dukhovnye, voennye, sotsial'no-politicheskie aspekty sovremennosti [Geopolitical aspects of building a powerful Eurasian state. Worldview, spiritual, military, socio-political aspects of modernity]*: monograph. Minsk: Institute of Border Service of the Republic of Belarus, 2016. 286 p. (rus)
5. Kuz'min A.A., Panchenkov V.V., Simonov V.V. Natsional'naya bezopasnost', rol' i mesto grazhdanskoy oborony v sisteme ee obespecheniya [National security, the status and role of civil defence in the system of its provision]. *Journal of Civil Protection*, 2018. Vol. 2, No. 2. Pp. 243–255. (rus). DOI: 10.33408/2519-237X.2018.2-2.243. EDN: XPAXKP.
6. Karpilenya N.V. *Teoreticheskie osnovy mnogopolyarnogo mira: evraziyskiy vzglyad iz Soyuznogo gosudarstva [Theoretical foundations of a multipolar world: a Eurasian view from the Union State]*: monograph. Moskva: Archont, 2020. 426 p. (rus)
7. Bulva A.D. Zakony vooruzhennoy bor'by kak nauchno-teoreticheskaya osnova kompleksnoy zashchity organizatsiy, podlezhashchikh perevodu na rabotu v usloviyakh voennogo vremeni [Laws of armed combat as a scientific and theoretical basis for comprehensive protection of organizations to be transferred to work in wartime conditions]. *Journal of Civil Protection*, 2022. Vol. 6, No. 1. Pp. 103–118. (rus). DOI 10.33408/2519-237X.2022.6-1.103. EDN: WTTLWY.
8. Karpilenya N.V., Bulva A.D. Voennaya doktrina kak nauchno-teoreticheskaya osnova sovershenstvovaniya grazhdanskoy oborony [Military doctrine as a scientific and theoretical basis for the improvement of civil defense]. *Journal of Civil Protection*, 2019. Vol. 3, No. 2. – Pp. 178–194. (rus). DOI: 10.33408/2519-237X.2019.3-2.178. EDN: GOCWJC.

9. Khampe E. *Strategiya grazhdanskoj oborony* [Civil defense strategy]. Moscow: Izdatel'stvo inostranoy literatury, 1958. 132 p. (rus)
10. Sistema [System]: Big Russian Encyclopedic Dictionary. Moscow: BRE, 2003. Pp. 1437. (rus)
11. Bulva A.D., Beznosik E.A., Lebedkin A.V. Kompleksnaya zashchita organizatsiy, podlezhashchikh perevodu na rabotu v usloviyakh voennogo vremeni [Integrated protection of organizations which have to be transferred for working under war conditions]. *Journal of Civil Protection*, 2020. Vol. 4, No. 1. Pp. 59–73. (rus). DOI: 10.33408/2519-237X.2020.4-1.59. EDN: GXLWHX.
12. Ksenofontov V.A. Voенно-doktrinal'nye vzgljady na oboronu strany [Military doctrinal views on the defense of the country]: *Gumanitarnye problemy voennogo dela*, 2017. Vol. 11, No. 2. Pp. 36–46. (rus). EDN: YUDZGV.
13. Shmigevskiy N.V. Formula sovershenstva [Perfection Formula]. *Strana znaniy*, 2010. No. 4. Pp. 2–7. (rus)
14. Karpilenya N.V. Ob istoricheskom i politicheskom protsesse, oshibkakh mnogovektornosti i neytraliteta v Belarusi i pervoocherednykh voенно-politicheskikh merakh dlya ukrepleniya Soyuznogo gosudarstva i russkoy tsivilizatsii [On the historical and political process, the mistakes of multi-vector and neutrality in Belarus and priority military-political measures to strengthen the Union State and Russian civilization]: *Bol'shaya Evraziya: Razvitie, bezopasnost', sotrudnichestvo. Ezhegodnik*, 2020. Vol. 3, No. 2. Pp. 85–94. (rus). EDN: PFZIII.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЙ МАКЕТ ТРЕНАЖЕРА С ИМИТАЦИЕЙ ЭФФЕКТОВ ФИЗИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ В УСЛОВИЯХ ВИРТУАЛЬНОЙ РЕАЛЬНОСТИ ДЛЯ ПОДГОТОВКИ СПАСАТЕЛЕЙ-ПОЖАРНЫХ

Полевода И.И., Рябцев В.Н., Лихоманов А.О., Навроцкий О.Д.,
Грачулин А.В., Гапанюк Д.В., Морозов А.А., Климовцов В.М.,
Винярский Г.В., Шинкоренко К.Е., Гусаров И.С., Бобарика И.В.

Цель. Разработать экспериментальный макет тренажера для подготовки спасателей-пожарных, включающий программное обеспечение и элементы имитации эффектов физических воздействий на обучающегося в условиях виртуальной реальности, а также исследовать влияние эффектов обратной тактильной связи на обучающихся.

Методы. Общая методология работы предусматривала использование теоретических методов исследования (анализ, синтез, сравнение). Влияние эффектов обратной тактильной связи на обучающихся определено методом измерения частоты их сердечных сокращений в ходе рандомизированного исследования с двумя параллельными группами.

Результаты. На основе анализа опыта применения технологий виртуальной и дополненной реальности в образовательной деятельности сформулированы назначение, состав, структура и функции экспериментального макета тренажера с имитацией эффектов физических воздействий в условиях виртуальной реальности для подготовки спасателей-пожарных (ЭМТ). Разработанный ЭМТ, включающий VR-гарнитуру (для управления симуляцией и передачи визуальных и звуковых эффектов), VR-костюм (для обеспечения обратной тактильной связи за счет электростимуляции нервно-мышечных структур) и оригинальное программное обеспечение, позволяет погружать обучающихся в виртуальную среду, имитирующую условия чрезвычайной ситуации (пожар в квартире жилого дома) и воздействие на них опасных факторов пожара. С использованием ЭМТ исследовано влияние эффектов обратной тактильной связи на обучающихся. Показано, что применение ЭМТ позволяет снизить количество ошибок, совершаемых обучающимися при ликвидации пожара в квартире жилого дома в виртуальной симуляции, от 2,5 до 4,0 раз по сравнению с использованием технологий виртуальной реальности без применения эффектов обратной тактильной связи.

Область применения исследований. Результаты работы могут быть применены для создания тренажера с имитацией эффектов физических воздействий в условиях виртуальной реальности с целью его использования в образовательном процессе для подготовки спасателей-пожарных.

Ключевые слова: виртуальная реальность, дополненная реальность, тренажер, имитация физических воздействий, аварийно-спасательные работы, спасатель-пожарный, VR-костюм, VR-гарнитура, VR-шлем.

(Поступила в редакцию 13 июля 2022 г.)

Введение

Обеспечение защиты населения и территорий от чрезвычайных ситуаций (ЧС) является одной из важнейших задач государственной политики Республики Беларусь в области национальной безопасности. Для решения этой задачи в стране создана и функционирует профессиональная пожарная аварийно-спасательная служба.

Для эффективной ликвидации ЧС и их последствий спасатели-пожарные получают профильное образование и регулярно повышают уровень профессионального мастерства в рамках специализированных занятий и учений.

Подготовка в тренировочных комплексах позволяет обеспечить безопасность личного состава в случае неверных действий и исключает возможность какого-либо негативного

воздействия на них опасных факторов, однако не позволяет реализовать масштаб, специфику и реалистичное подобие происходящих в условиях ЧС процессов, с которыми может столкнуться личный состав аварийно-спасательных служб (обрушение строительных конструкций (оборудования), поражение электрическим током, воздействие высоких температур и др.).

Масштаб и специфику ЧС можно реализовать в рамках учений на полигонах, однако приближение к реальным условиям чрезвычайных ситуаций ведет к большим рискам негативного воздействия на спасателей-пожарных, а также требует значительных финансовых затрат.

Учитывая вышесказанное, а также основываясь на опыте применения технологий виртуальной и дополненной реальности в различных областях образовательной деятельности [1–22], весьма актуальной является разработка и внедрение в образовательный процесс тренажерных комплексов с использованием технологий виртуальной реальности, которые позволяют обучающимся не только находиться в виртуальной среде, но и передвигаться, взаимодействовать с ней естественным образом, получая обратную тактильную связь, при этом не подвергаться опасности поражения опасными факторами ЧС. Это позволит обучающимся в короткие сроки получить опыт и практические навыки поведения в ЧС, условия которых крайне сложно смоделировать в образовательном процессе.

Для реализации вышеописанной цели в Университете гражданской защиты МЧС Беларуси (далее – университет) разработан экспериментальный макет тренажера с имитацией эффектов физических воздействий в условиях виртуальной реальности, который рассматривается далее в статье.

Основная часть

Назначение, состав и функции экспериментального макета тренажера с имитацией эффектов физических воздействий в условиях виртуальной реальности. Экспериментальный макет тренажера с имитацией эффектов физических воздействий в условиях виртуальной реальности (ЭМТ) и его программное обеспечение (ПО) разработаны с целью определения оптимального режима работы тренажера для использования в образовательном процессе при подготовке спасателей-пожарных, а также для экспериментальной оценки влияния эффектов обратной тактильной связи на обучающегося при имитации ударов, поражения электрическим током, теплового воздействия и других факторов методом измерения частоты их сердечных сокращений (ЧСС). Под оптимальным режимом работы ЭМТ подразумевается такой порядок его функционирования и использования преподавателем и обучающимися, при котором можно автоматизировать и сохранять либо в некоторых случаях повышать качество подготовки спасателей-пожарных посредством погружения их в виртуальную среду, имитирующую условия ЧС и воздействие на них опасных факторов, которые крайне сложно и экономически нецелесообразно воссоздавать в реальности.

Основываясь на опыте применения технологий виртуальной и дополненной реальности в различных областях образовательной деятельности, сформированы требования к составу (табл. 1, рис. 1) и структуре ЭМТ, схема которой представлена на рисунке 2. Основная задача ЭМТ – погружение обучающегося в среду моделируемой ЧС.

Принцип моделирования ЧС основан на технологиях визуализации и имитации возникновения, развития и последствий моделируемой ЧС. Обучающийся воспринимает происходящее от первого лица через VR-шлем (шлем виртуальной реальности для визуализации обучающей симуляции в виртуальной среде) и с помощью ручных VR-контроллеров имеет возможность взаимодействовать с предметами в виртуальном мире, а также ощущать физические воздействия через VR-костюм в соответствии со сценарием.

Таблица 1. – Компоненты ЭМТ и их назначение

№ п/п	Компонент	Назначение
1	VR-костюм	Обеспечение обратной тактильной связи путем электростимуляции нервно-мышечных структур
2	VR-шлем	Визуальная и звуковая передача моделируемой обстановки
3	Ручные VR-контроллеры	Взаимодействие с объектами в виртуальном пространстве
4	Бэпкак	Сопряжение VR-шлема и VR-костюма, обеспечение функционирования ПО обучающегося
5	Головной персональный компьютер (ГПК)	Обеспечение работы модуля преподавателя и долгосрочное хранение данных о результатах прохождения тренировочных заданий обучающимися
6	ПО обучающегося	Моделирование и передача виртуальной реальности обучающемуся через VR-шлем и VR-костюм
7	ПО сервера	Синхронизация событий в виртуальном пространстве для различных пользователей в режиме одновременного прохождения заданий несколькими обучающимися
8	ПО преподавателя	Осуществление контроля над прохождением заданий обучающимся в режиме реального времени, доступ к персональной учебной статистике обучающихся, а также настройка параметров заданий с учетом учебных задач под конкретного обучающегося. Предусмотрена визуализация от первого (действия обучающегося) и третьего лица (общий вид сцены с возможностью изменения положения точки и направления обзора)

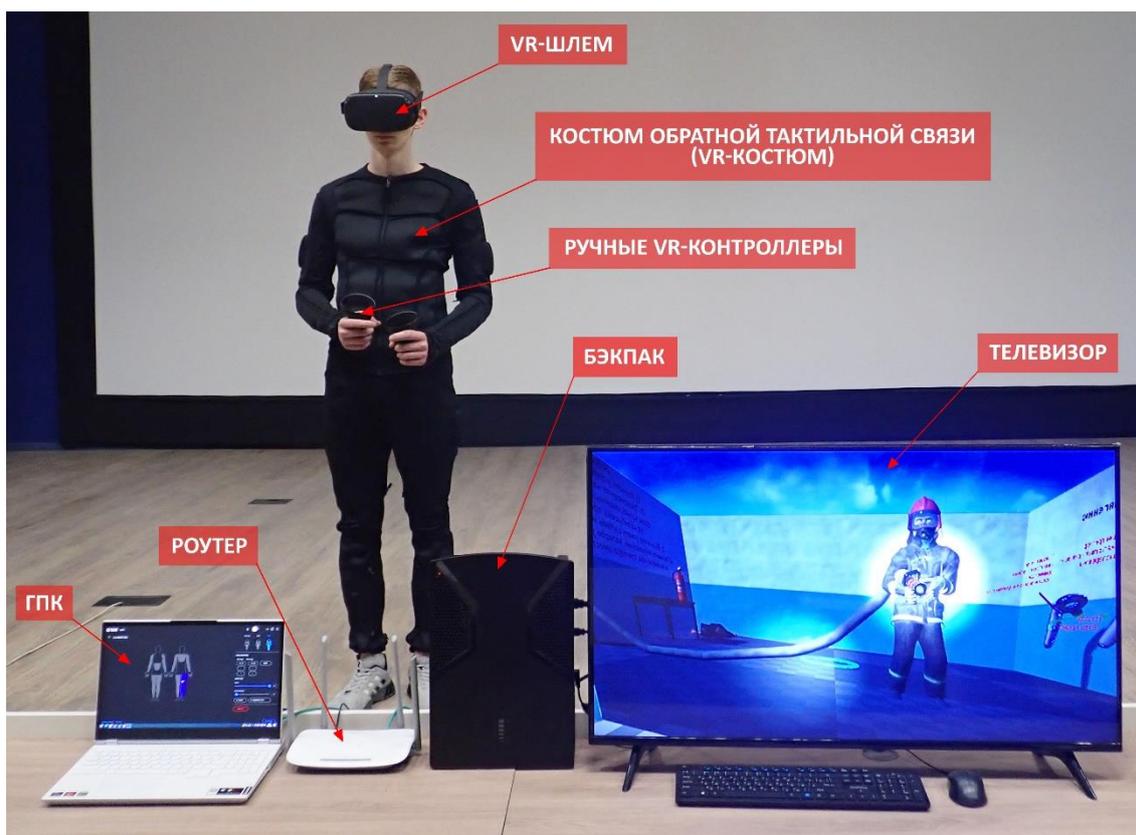
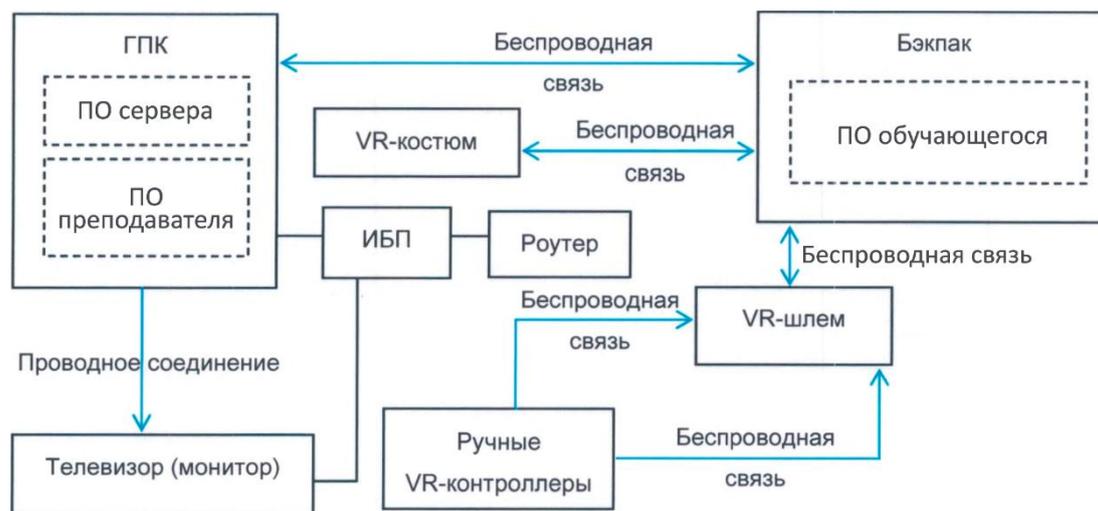


Рисунок 1. – Составные компоненты ЭМТ



ИБП – источник бесперебойного питания для обеспечения гарантированного электропитания оборудования; телевизор (монитор) – дополнительное внешнее устройство для вывода пользовательской информации оператору и визуализации в режиме реального времени процесса прохождения сценария с целью оценки правильности выполнения действий обучающихся

Рисунок 2. – Структура ЭМТ

Одним из главных элементов ЭМТ является VR-костюм с возможностью передачи обратной тактильной связи, обеспечивающий имитацию физических воздействий на обучающегося путем электростимуляции нервно-мышечных структур. Данный костюм является отличительной особенностью ЭМТ в сравнении с большинством известных тренажеров^{1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10}, где применяются только технологии виртуальной реальности без применения эффектов обратной тактильной связи.

VR-костюм представляет собой электротехническое изделие с интегрированными инерциальными датчиками (англ. – inertial measurement unit, IMU) и электродами, расположенными на внутренней поверхности костюма в анатомически подходящих областях тела. Каждый инерциальный датчик состоит из акселерометра, гироскопа и магнитометра. Датчики IMU позволяют отслеживать позы, положение и движение человека в пространстве, а также создавать на основе полученных данных его цифровое представление (аватар)

¹ Виртуальный тренажерный комплекс «ОГНЕБОРЕЦ-ИТ» [Электронный ресурс] / ЗАО «Институт телекоммуникаций». – Режим доступа: <https://itain.ru/produkty/kartograficheskoe-obespechenie/136-mnogofunktsionalnyj-virtualnyj-trenazhernyj-kompleks-ogneborets-it>. – Дата доступа: 01.07.2022.

² 2019: представление комплексного тренажера на основе технологии виртуальной реальности [Электронный ресурс] / TAdvisor – портал выбора технологий и поставщиков. – Режим доступа: <https://www.tadviser.ru/a/462739>. – Дата доступа: 01.07.2022.

³ Supercharge your training with XR [Электронный ресурс] / Luminous Group. – Режим доступа: https://www.luminousgroup.co.uk/immersive-training/?_gl=1*19tu3oc*_up*MQ.*_ga*Mzg3NDU3Nzg0LjE2NTY2Njg5OTM.*_ga_90T247P1QQ*MTY1NjY2ODk5My4xLjEuMTY1NjY2ODk5Ny4w. – Дата доступа: 01.07.2022.

⁴ Safety training meets virtual reality [Электронный ресурс] / Gravity Jack. – Режим доступа: <https://gravityjack.com/simsafe-vr-training/>. – Дата доступа: 01.07.2022.

⁵ VR Fire Training [Электронный ресурс] / OneBonsai – Virtual Reality Solutions for Companies. – Режим доступа: <https://onebonsai.com/vr-training/vr-fire-training/>. – Дата доступа: 01.07.2022.

⁶ Virtual Reality Fire Training [Электронный ресурс] / VRVis. – Режим доступа: <https://www.vrvis.at/en/research/research-projects/virtual-reality-fire-training>. – Дата доступа: 01.07.2022.

⁷ Solutions [Электронный ресурс] / E-Learning Studios. – Режим доступа: <https://www.e-learningstudios.com/vr-solutions>. – Дата доступа: 01.07.2022.

⁸ Virtual Reality [Электронный ресурс] / Virtual Reality Development. – Режим доступа: <https://www.chrp-india.com/virtual-reality>. – Дата доступа: 01.07.2022.

⁹ Fire Safety VR Simulator [Электронный ресурс] / Simulanis. – Режим доступа: <https://www.simulanis.com/fire-safety-vr>. – Дата доступа: 01.07.2022.

¹⁰ VR Safety Training Application [Электронный ресурс] / QUYTECH. – Режим доступа: <https://www.quytech.com/portfolio/virtual-reality-safety-training.php>. – Дата доступа: 01.07.2022.

в виртуальной среде. Расположенные на внутренней поверхности костюма электроды предназначены для передачи физических воздействий путем электростимуляции нервно-мышечных структур, что позволяет взаимодействовать с виртуальными объектами в обучающей симуляции (рис. 3). Под обучающей симуляцией (далее – симуляция) в данном контексте подразумевается виртуальная модель ситуации, в которой обучающийся выполняет определенный сценарием алгоритм действий при сопровождении звуковыми и визуальными эффектами, реализуемыми с помощью гарнитуры виртуальной реальности, а также испытывает физические воздействия при взаимодействии с виртуальными объектами, генерируемые костюмом обратной тактильной связи.

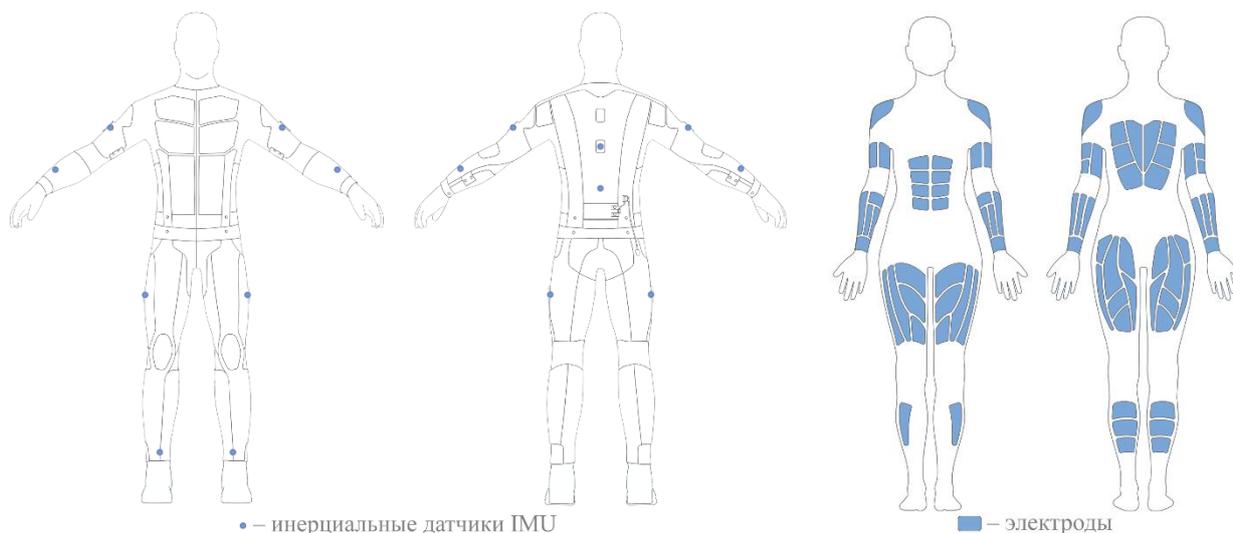


Рисунок 3. – Расположение инерциальных датчиков IMU и электродов в VR-костюме

Программное обеспечение для ЭМТ (рис. 1 и табл. 1) предназначено для корректного функционирования средств имитации эффектов воздействия на органы чувств обучающихся согласно сценарию в виртуальной среде: гарнитуры виртуальной реальности (VR-шлема), создающей у обучающегося эффект частичного или полного погружения; системы озвучивания; костюма обратной тактильной связи, обеспечивающего имитацию физических воздействий на обучающегося (например, ударов, поражения электрическим током, теплового воздействия в симуляции). ПО для ЭМТ обеспечивает программную обработку обратной тактильной связи VR-костюма, звуковое сопровождение, а также включает виртуальные объекты наполнения виртуальных обучающих локаций и окружающей среды, интерфейс управления ЭМТ для преподавателя, алгоритмы отслеживания и оценки действий обучающегося и сбора его персональной статистики с последующим сохранением в базе данных.

Программное обеспечение преподавателя (рис. 1) позволяет решать следующие задачи:

- проходить простейшую авторизацию при входе в систему для персонализации действий;
- осуществлять настройку исходных параметров ЧС, моделируемых на ЭМТ;
- вести учет обучающихся для их идентификации при прохождении контрольных заданий на ЭМТ;
- иметь доступ к информации о результатах прохождения контрольных заданий обучающимися;
- наблюдать в реальном времени или в режиме отложенного просмотра на мониторе (телевизоре) проходимые обучающимися контрольные задания (вид со стороны), а также получать сведения о выполнении существенных этапов задания и итоговом результате;
- иметь доступ к справочной информации и руководству пользователя ЭМТ.

В текущей версии ПО в модуле обучающегося создана одна сцена симуляции в виртуальной среде, рассчитанная на одновременное прохождение одним обучающимся.

Сцена обучающей симуляции в виртуальной среде для подготовки спасателей-пожарных. Площадка для размещения ЭМТ – ровная (без перепадов высот) поверхность в свободном пространстве площадью не менее 25 м².

Сцена обучающей симуляции в виртуальном пространстве представляет собой квартиру, состоящую из прихожей, туалета/ванной, жилой части и кухни со следующими элементами (объектами) наполнения: мебель (шкафы, столы, стулья и диван), электрооборудование и бытовая техника (телевизор, стиральная машина, холодильник, микроволновая печь и газовая плита), сантехника (раковина, ванна и унитаз) и т.д. (рис. 4).



Рисунок 4. – Внешний вид квартиры из симуляции (вид сверху)

Планировка сцены в симуляции также включает коридор с поворотами, ведущий к квартире, в которой находится очаг пожара (рис. 5). В коридоре предусмотрено наличие электрического щитка, а также входных дверей квартир с номерами. Двери смежных квартир не доступны для открытия. В коридоре наблюдается легкое задымление, которое может изменяться преподавателем в рамках управления симуляцией. В квартире, где развивается пожар, возможны множественные очаги: бытовая техника, мебель, электроника, элементы отделки и т.д.



а – стартовая позиция обучающегося в начале коридора



б – вид от первого лица обучающегося на стартовой позиции

Рисунок 5. – Кадры из симуляции в ЭМТ



в – первый поворот в коридоре



г – второй поворот в коридоре, дверь в квартиру, электрический щиток



д – пострадавший без сознания в туалете/ванной



е – тушение пожара в жилой части квартиры

Рисунок 5. – Кадры из симуляции в ЭМТ

В ПО преподавателя имеется возможность выбрать один из пяти вариантов оформления сцены симуляции (рис. 6), при этом возможно произвольное наполнение квартиры объектами по замыслу преподавателя (рис. 7). Также в некоторых вариантах сцены предусматривается наличие пострадавшего без сознания и (или) газового баллона (отдельные элементы, которые необходимо вынести (эвакуировать) в безопасную зону).

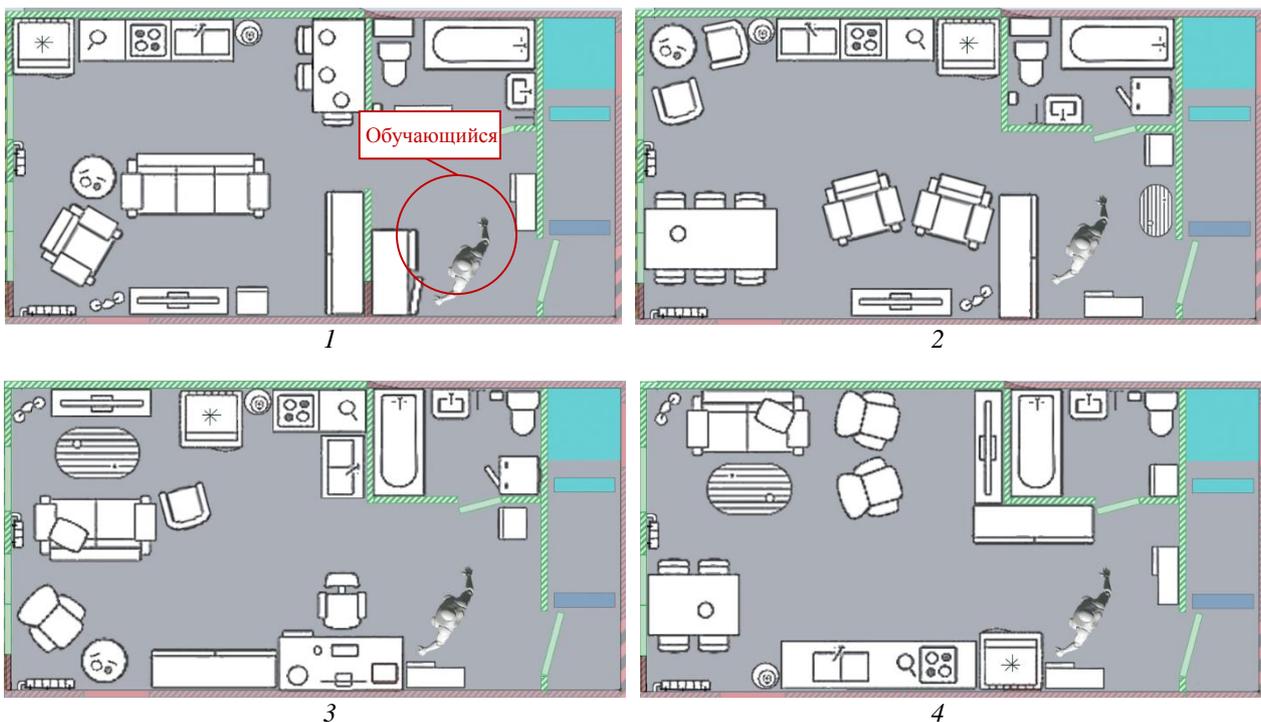
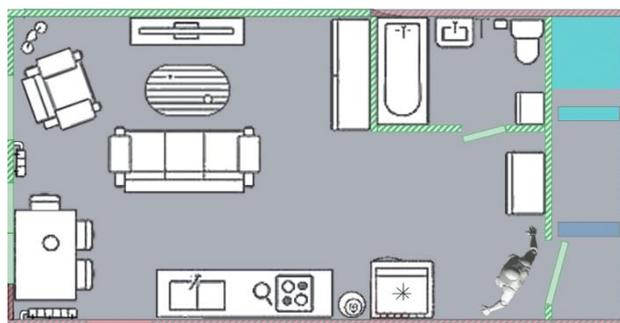


Рисунок 6. – Варианты сцены для симуляции (вид сверху)



5

Рисунок 6. – Варианты сцены для симуляции (вид сверху)

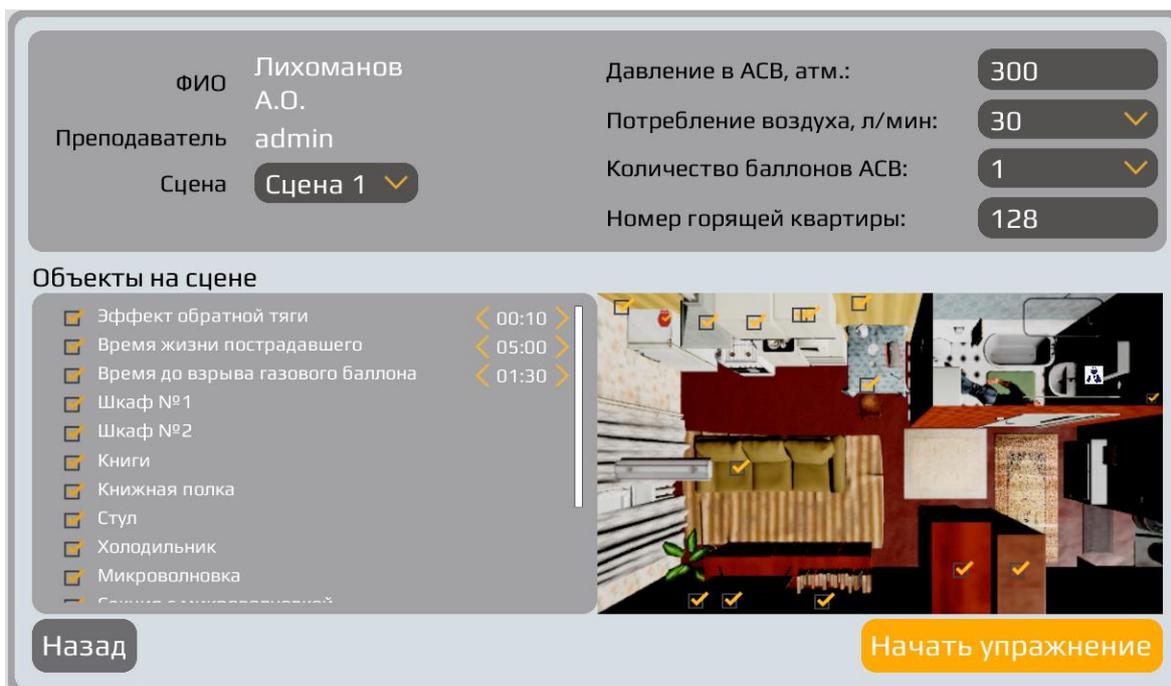


Рисунок 7. – Меню ПО преподавателя для настройки сцены симуляции в ЭМТ

Основной целью обучающегося является выполнение правильного порядка действий по спасению людей и тушению пожара в квартире. Для этого ему необходимо оценить сложившуюся в условиях ЧС обстановку, выполнить разведку на месте ЧС, спасти пострадавших, предотвратить взрыв газового баллона и потушить пожар в квартире.

Прохождение симуляции обучающийся начинает в коридоре (рис. 5а). Экипировка обучающегося в виртуальной среде включает (рис. 8): комплект боевой одежды (шлем, куртка, перчатки, штаны, сапоги), дыхательный аппарат на сжатом воздухе (АСВ) с выносным манометром для контроля давления в баллоне аппарата, панорамную маску, фонари (нагрудный и для крепления на каске), радиостанцию. В коридоре возле него на полу предусмотрено наличие рукавной линии с перекрывным ручным пожарным стволом и (или) огнетушителя.

В начале симуляции обучающийся должен правильно оценить запас воздуха в АСВ и далее периодически отслеживать показания выносного манометра АСВ, для того чтобы вовремя покинуть зону задымления.

В ходе симуляции обучающийся должен пройти по коридору в направлении квартиры, в которой находится очаг пожара (номер квартиры преподаватель сообщает обучающемуся по радиосвязи), проверить номер на входной двери. Открывание двери осуществляется посредством захвата дверной ручки и перемещения двери в открытое положение.



Рисунок 8. – Экипировка обучающегося в симуляции в ЭМТ

При открывании двери может быть предусмотрен выброс пламени (тепловой волны) из помещения (задается преподавателем при выборе сцены). В случае неверного расположения обучающегося при открывании двери на него попадает пламя. В этот же момент VR-костюм имитирует тепловое воздействие на обучающегося за счет воздействия электрическим током через электроды, установленные в VR-костюме, и одновременно осуществляется регистрация ошибки в базе данных. Воздействие электрическим током на обучающегося через VR-костюм также осуществляется в следующих случаях:

- при непрерывном нахождении обучающегося в огне в течение времени, превышающего 5 с;

- при допущении обучающимся критической ошибки (при взрыве газового баллона и нахождении обучающегося в зоне действия взрыва; при непрерывном нахождении обучающегося в огне в течение времени, превышающего 20 с; при тушении пожара посредством ствола, если не был отключен электрический щит; при выбросе пламени в результате эффекта обратной тяги и нахождении обучающегося в зоне ее действия).

При входе в квартиру обучающийся должен визуально оценить обстановку: подтвердить очаг пожара и осуществить поиск видимых причин возможных угроз, пострадавших, при необходимости эвакуировать их в безопасную зону и затем приступить к ликвидации пожара.

Все этапы прохождения симуляции должны сопровождаться передачей обучающимся значимой информации посредством имитации радиообмена.

Завершение симуляции осуществляется при достижении ликвидации пожара (все пострадавшие спасены, все очаги потушены), при допущении обучающимся критической ошибки вручную преподавателем (досрочно).

Размеры виртуального помещения в симуляции исключают возможность обучающегося перемещаться за пределы размеров реального помещения (площадки для размещения ЭМТ). Процессы и явления, происходящие в симуляции, соответствуют законам физики настолько, насколько это позволяет реализовать используемое оборудование и программное обеспечение.

В виртуальной симуляции предусматривается звуковое сопровождение, соответствующее реальной обстановке при пожаре (стоны и крики людей, звуки сирены, пламени и искр, дыма, брызг, разрушения объектов и т.д.), учитывается расположение условного источника звука и его удаленность. В симуляции также обеспечивается возможность взаимодействия обучающегося с преподавателем посредством имитации радиообмена.

Симуляция предусматривает визуальное изменение обстановки в помещениях с учетом общих закономерностей развития пожара. Развитие пожара моделируется с учетом

места возникновения его очага, распространения опасных факторов пожара, их воздействия на окружающие объекты в обучающей сцене, а также предпринимаемых действий обучающегося и преподавателя.

При прохождении у обучающегося есть возможность выполнять следующие действия:

- свободно передвигаться по обучающей сцене;
- обесточивать электрооборудование (путем отключения электрического щита на входе в квартиру);
- открывать/закрывать двери;
- подавать огнетушащее вещество в очаг пожара, при этом учитывается направление и дальность их подачи, а также количество (при использовании технических средств тушения пожара (ручного пожарного ствола, огнетушителя) направление подачи огнетушащего вещества определяется их положением. Время подачи огнетушащего вещества из ручного пожарного ствола не ограничено, а из огнетушителя – ограничено его емкостью, которая задается заранее преподавателем при настройке обучающей сцены);
- проводить поиск и спасение пострадавших;
- перемещать газовый баллон и охлаждать его для предотвращения его взрыва.

В ходе прохождения симуляции обучающийся испытывает физические воздействия, генерируемые VR-костюмом (табл. 2), а также воспринимает визуальные и звуковые эффекты от VR-шлема (стоны, крики, звуки сирены, пламя, вспышки пламени, искры, дым, брызги, падение, разрушение и горение объектов, тушение пожара и т.д.).

Таблица 2. – Имитируемые физические воздействия на обучающегося и соответствующие им ситуации

Компонент ЭМТ	Имитируемый эффект воздействия на обучающегося	Ситуации, при которых в ЭМТ имитируется эффект воздействия на обучающегося
VR-костюм	Поражение электрическим током	– направление струи воды на необесточенное электрооборудование; – непосредственный контакт с элементами оборудования под напряжением
	Взрывная волна	– взрыв газового баллона; – открывание двери и выброс пламени
	Удар летящими элементами	– падение предметов, элементов мебели и отделки; – поражение летящими предметами при взрыве
	Попадание на тело воды	– брызги от струи воды из пожарного ствола
	Тепловое воздействие	– нахождение непосредственно в зоне открытого горения; – расположение у очага пожара во весь рост во время тушения

Захват объектов, предусмотренных в сцене (пострадавших, перекрытого ручного пожарного ствола, огнетушителя, переключателей, газового баллона), осуществляется обучающимся с использованием ручных VR-контроллеров. При наведении руки с контроллером на объект в сцене, доступный для захвата, предусматривается визуальное выделение (подсветка) данного объекта.

Таким образом, разработанный ЭМТ позволяет погрузить обучающегося в близкую к реальной среду ЧС, где ему необходимо выполнить ряд корректных действий по обеспечению безопасности пострадавших и ликвидации пожара в квартире жилого дома. Прохождение обучающей симуляции предусматривает обратную тактильную связь с обучающимися при допущении различного рода ошибок, что должно положительно сказаться на эффективности их обучения, в частности на скорости и качестве запоминания правильных действий в условиях ЧС, в сравнении с использованием при обучении только VR-гарнитуры. С целью оценки данного суждения проведены экспериментальные исследования влияния эффектов обратной тактильной связи на обучающихся.

Исследование влияния эффектов обратной тактильной связи на обучающихся.

Экспериментально определять влияние эффектов обратной тактильной связи на обучающихся нами принято методом измерения частоты их сердечных сокращений (ЧСС) при прохождении симуляции с помощью специального нагрудного датчика – пульсометра Polar H10¹¹. ЧСС является одним из наиболее информативных физиологических показателей, который характеризует психоэмоциональное состояние и реакцию организма на окружающую среду и физическую нагрузку [23; 24]. Сердце человека сжимается благодаря электрическим импульсам, за периодичность которых отвечает вегетативная нервная система. Она не подчиняется сознанию, а работает самостоятельно исходя из текущего состояния организма, что позволяет объективно оценить влияние внешних стимулов на обучающихся.

В проведении эксперимента приняли участие 16 обучающихся университета. Критерии отбора участников были следующими:

- схожий уровень подготовки и опыта в проведении аварийно-спасательных работ, предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций;
- возраст от 20 до 23 лет;
- отсутствие опыта использования VR-технологий (VR-шлема, VR-костюма и т.п.).

Отбор по первому критерию (уровень подготовленности обучающихся) осуществлялся на основе объема изученного материала по учебным дисциплинам, развивающим навыки проведения аварийно-спасательных работ, предупреждения и ликвидации ЧС. Под данный критерий, очевидно, подходят обучающиеся, находящиеся на одном курсе обучения на момент проведения исследования. В итоге для проведения эксперимента отбирались обучающиеся 3-го курса специальности 1-94 01 01 «Предупреждение и ликвидация чрезвычайных ситуаций» университета.

Эксперимент состоял из ряда этапов. На первом этапе обучающихся ознакомили с порядком проведения эксперимента, а также присвоили порядковые номера каждому из них и распределили по экспериментальным группам «А» и «Б» случайным образом для минимизации системной ошибки отбора:

- группа «А» – проходят симуляцию с VR-гарнитурой и VR-костюмом;
- группа «Б» – проходят симуляцию с VR-гарнитурой, но без использования VR-костюма, т.е. без воздействия обратной тактильной связи.

На втором этапе перед прохождением обучающимися симуляции в ЭМТ у каждого из них измерялась ЧСС в состоянии покоя с помощью нагрудного пульсометра. Прохождение симуляции обучающимися допускалось только в том случае, если ЧСС составляла от 60 до 100 уд/мин.

На третьем этапе обучающиеся поочередно проходили симуляцию в ЭМТ. Для прохождения был выбран первый вариант оформления сцены симуляции (рис. 6) с максимальным возможным наполнением объектами (элементами). По завершении симуляции преподавателю выводилось окно с результатами ее прохождения обучающимся, в частности количество и описание совершенных им ошибок. Во время прохождения симуляции у каждого участника измерялась ЧСС, а по результатам прохождения фиксировались допущенные ошибки и их количество.

На четвертом этапе, который проводился спустя 7 суток после завершения третьего этапа, представителям экспериментальных групп давалась одна попытка на прохождение симуляции для определения степени запоминания действий спасателя-пожарного в условиях пожара в квартире жилого дома. Далее представлены обобщенные результаты экспериментальных данных и их анализ.

¹¹ Polar H10 [Электронный ресурс] / Polar H10 | Polar Global. – Режим доступа: <https://www.polar.com/en/sensors/h10-heart-rate-sensor>. – Дата доступа: 01.07.2022.

Оценивание влияния эффектов обратной тактильной связи на обучающихся в двух экспериментальных группах проводилось путем сравнения наибольшего изменения ЧСС в течение 5 с после прохождения опорной точки симуляции либо при прохождении опорной зоны симуляции. В данном исследовании под опорной точкой симуляции подразумевается наступление такого события (момента) при ее прохождении, когда происходит электростимуляция нервно-мышечных структур обучающихся с помощью электродов VR-костюма (обратная тактильная связь). Также рассматривались и опорные зоны симуляции – это наиболее напряженные с точки зрения психоэмоционального состояния и физической нагрузки участки симуляции, на которых обучающиеся выполняют набор обязательных для прохождения симуляции действий (в опорных зонах какого-либо воздействия VR-костюма на обучающегося не происходит). Перечень и описание опорных точек и зон симуляции представлены в таблице 3.

Таблица 3. – Опорные точки и зоны симуляции в ЭМТ

Опорные точки симуляции	Опорные зоны симуляции
Обратная тяга (при открывании двери в помещении)	Поиск и эвакуация пострадавшего
Ожог (при длительном нахождении в пламени)	Тушение очагов пожара
Поражение током	

На рисунке 9 представлен график изменения ЧСС при прохождении симуляции одним из обучающихся из экспериментальной группы «А». На графике отмечены опорные точки и зоны симуляции. Каждый обучающийся из обеих экспериментальных групп проходил симуляцию 6 раз. По результатам каждого прохождения составлялась зависимость ЧСС от времени и определялось изменение данного показателя в опорных точках и зонах. Результаты для обеих групп представлены на рисунке 10.

По данным, представленным на рисунке 10, можно заметить, что при прохождении обучающимися группы «А» опорных точек симуляции (которые сопровождаются электростимуляцией от VR-костюма, рис. 10 а, б, в) их ЧСС увеличивается на большую величину по сравнению с обучающимися из группы «Б» (в среднем разница составляет 6 уд/мин). При аналогичном сравнении двух экспериментальных групп при прохождении опорных зон (которые не сопровождаются электростимуляцией, рис. 10 г, д) видно, что ЧСС также увеличивается больше в группе «А», однако разница уже не так велика и в среднем составляет 2 уд/мин.

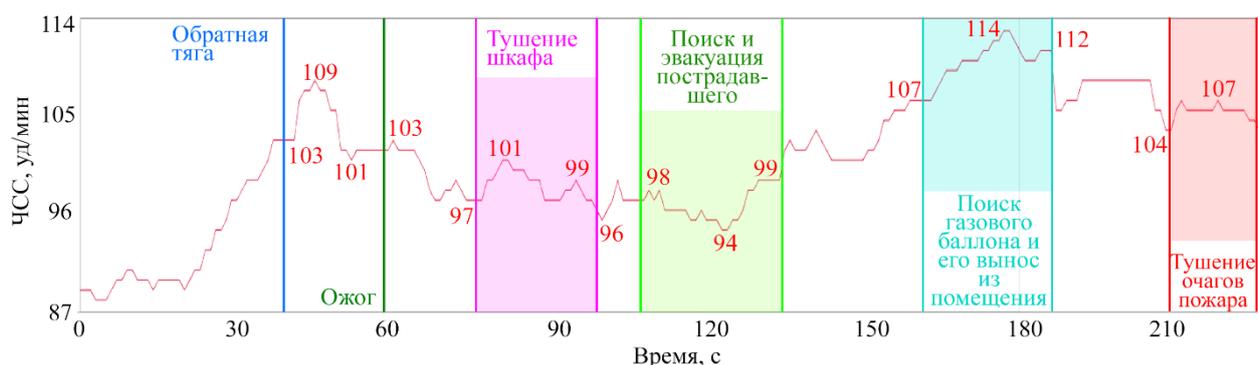
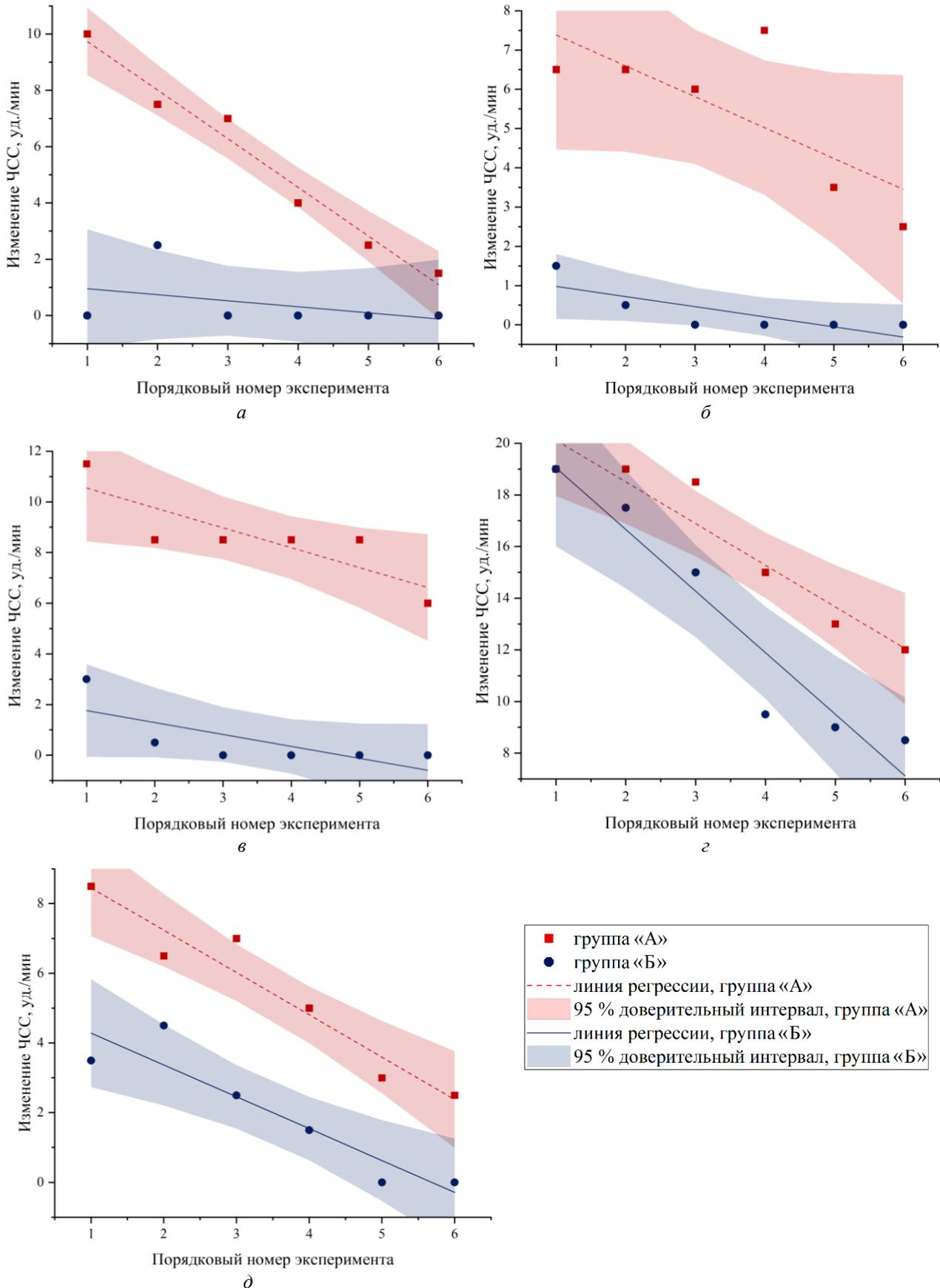


Рисунок 9. – График изменения ЧСС одного из обучающихся из группы «А» во время прохождения симуляции в ЭМТ



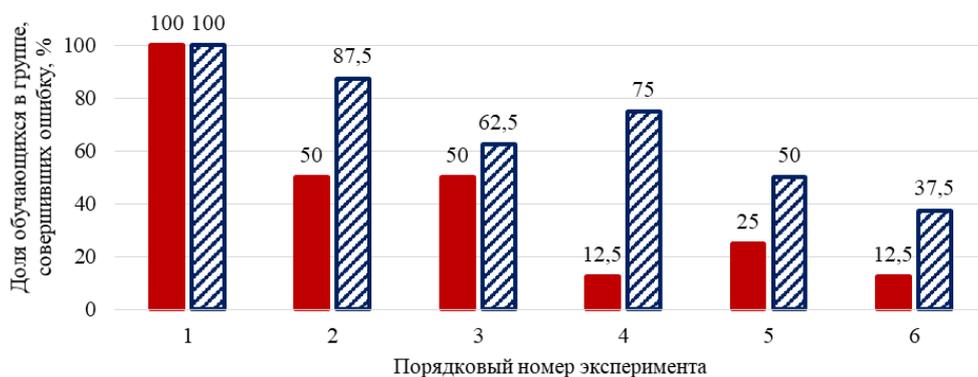
а – обратная тяга; б – ожог; в – поражение током; г – поиск и эвакуация пострадавшего; д – тушение очагов пожара
Рисунок 10. – Зависимость наибольшего изменения ЧСС в течение 5 с после прохождения опорной точки симуляции (а, б, в) либо при прохождении опорной зоны симуляции (г, д, е, ж) от порядкового номера эксперимента (попытки прохождения симуляции обучающимся)

Также следует отметить, что при прохождении опорных точек обучающимися из группы «Б» их ЧСС остается практически неизменной, начиная уже со второй попытки прохождения симуляции, в то время как представители экспериментальной группы «А» демонстрируют повышение ЧСС вплоть до шестой попытки (рис. 10 а, б, в). Таким образом, обучающиеся группы «А» постоянно испытывают напряжение при прохождении симуляции, что в итоге отражается и на результативности обучения.

На рисунке 11 представлены данные о доле обучающихся в экспериментальных группах, совершивших ошибки при прохождении симуляции в ЭМТ. Из рисунка видно, что обучающиеся из группы «А» быстрее запоминают ошибки и уже со второй попытки больше половины из них не совершают ни одно из перечисленных неправильных действий, в то время как обучающимся в группе «Б» понадобилось 4–5 попыток для достижения аналогичного результата.



а – не удался на безопасное расстояние после открывания двери в помещении (поражение пламенем в результате обратной тяги)



б – неосторожное передвижение в горящем помещении (получение ожогов)

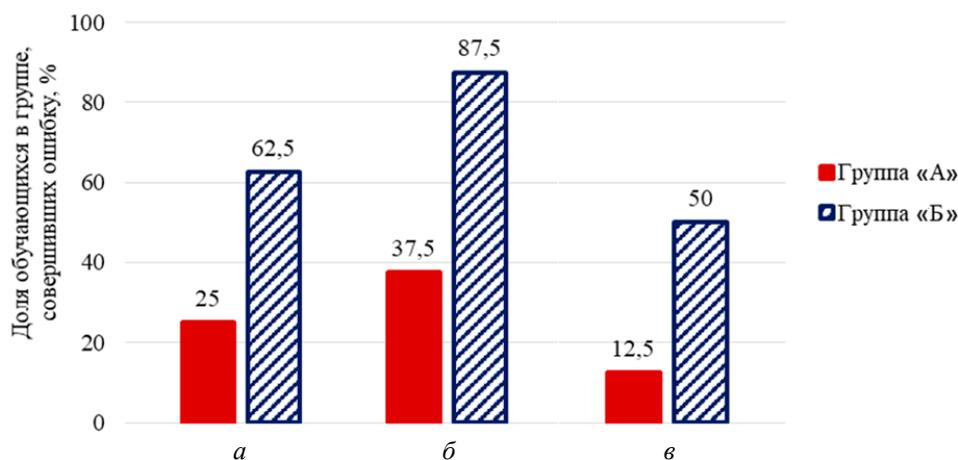


■ Группа «А» ■ Группа «Б»

в – не отключено электричество в квартире (поражение током)
 Рисунок 11. – Доля обучающихся в экспериментальных группах, совершивших ошибки при прохождении симуляции в ЭМТ

Вместе с тем примечателен и тот факт, что с каждой следующей попыткой изменение ЧСС в опорных точках в группе «А» постепенно становится меньше (в среднем опускается с 9 до 3 уд/мин при сравнении первого и шестого эксперимента, см. рис. 10 *а, б, в*). То есть помимо более эффективного запоминания совершенных ошибок и, соответственно, правильных действий в условиях пожара у обучающихся группы «А» формируется устойчивость к стрессовому состоянию в результате электростимуляции нервно-мышечных структур при совершении ошибок.

По результатам четвертого этапа исследований, который проводился спустя 7 суток после третьего этапа и во время которого представителям экспериментальных групп давалась одна попытка на прохождение симуляции для определения степени запоминания действий спасателя-пожарного в условиях пожара в квартире жилого дома, получены данные о доле обучающихся, совершивших ошибки при прохождении симуляции в ЭМТ (рис. 12).



а – не удался на безопасное расстояние после открывания двери в помещение (поражение пламенем в результате обратной тяги); *б* – неосторожное передвижение в горящем помещении (получение ожогов); *в* – не отключено электричество в квартире (поражение током)

Рисунок 12. – Доля обучающихся в экспериментальных группах, совершивших ошибки при прохождении симуляции в ЭМТ в итоговом эксперименте

Из рисунка 12 видно, что степень запоминания материала обучающимися из группы «А», прохождение обучающей симуляции которых сопровождалось обратной тактильной связью, существенно выше по сравнению с обучающимися из группы «Б», в которой использовалась только VR-гарнитура (VR-шлем и ручные VR-контроллеры). Так, только 2 обучающихся из группы «А» были поражены пламенем в результате обратной тяги, при этом в группе «Б» – 5. В 2,5 раза меньше обучающихся из группы «А» получили ожоги во время итогового эксперимента, а поражены током в 4 раза меньше по сравнению с группой «Б».

Кроме того, при проведении третьего и четвертого этапа исследований было отмечено, что при электростимуляции от VR-костюма во время имитации поражения током (в симуляции прикосновение к предмету под напряжением), обучающиеся рефлекторно отходили от опасного предмета и передвигались по помещению как можно дальше от него. Это происходило даже в тех попытках, когда на входе в помещение обучающиеся уже предварительно отключали электричество. Аналогичный эффект наблюдался и с очагами пожара – обучающиеся из группы «Б» старались проходить мимо них на максимально возможном удалении, поскольку при нахождении в огне на обучающихся также воздействовал электрический импульс от костюма обратной тактильной связи. В группе «А» большая часть обучающихся аккуратность не проявляла, что отразилось в незначительном повышении ЧСС (рис. 10 *а, б, в*) и в большем количестве ошибок (рис. 11 и 12).

Заключение

Результаты исследования показали, что применение экспериментального макета тренажера с имитацией эффектов физических воздействий в условиях виртуальной реальности в образовательном процессе при подготовке спасателей-пожарных позволяет снизить количество ошибок, совершаемых обучающимися при ликвидации пожара в квартире жилого дома в виртуальной симуляции, от 2,5 до 4 раз по сравнению с использованием технологий виртуальной реальности без применения эффектов обратной тактильной связи.

Результаты исследований могут быть применены при разработке тренажера для использования в образовательном процессе для автоматизации и повышения качества подготовки спасателей-пожарных посредством погружения их в виртуальную среду, имитирующую условия чрезвычайной ситуации и воздействие на обучающихся опасных факторов, которые крайне сложно и экономически нецелесообразно воссоздавать в реальности.

В рамках дальнейших исследований планируется:

- исследовать возможность одновременного командного прохождения симуляции несколькими обучающимися;
- исследовать возможность применения физических муляжей, оборудованных трекерами виртуальной реальности (например, огнетушитель, пожарный ствол, газовый баллон, манекены пострадавших и т.д.);
- выполнить интеграцию тренажера с перчатками виртуальной реальности с обратной тактильной связью, которые позволят расширить спектр эффектов обратной тактильной связи при взаимодействии с виртуальными объектами;
- увеличить вариативность сценариев (перечень ЧС, объектов, помещений и т.д.), а также настроек внутри сценариев;
- выполнить экспериментальное сравнение эффективности традиционных методов обучения и метода обучения с использованием тренажера виртуальной реальности с обратной тактильной связью для подготовки спасателей-пожарных.

ЛИТЕРАТУРА

1. Соболев, В.Ю. Интерактивные методы обучения как основа формирования компетенций / В.Ю. Соболев, О.В. Киселева // Высшее образование сегодня. – 2014. – № 9. – С. 70–74. – EDN: TAAHDZ.
2. Андрушко, Д.Ю. Применение технологий виртуальной и дополненной реальности в образовательном процессе: проблемы и перспективы / Д.Ю. Андрушко // Научное обозрение. Педагогические науки. – 2018. – № 6 – С. 5–10. – EDN: YVRGBV.
3. Herron, J. Augmented reality in medical education and training / J. Herron // Journal of Electronic Resources in Medical Libraries. – 2016. – Vol. 13, Iss. 2. – P. 51–55. – DOI: 10.1080/15424065.2016.1175987.
4. Kamphuis, C. Augmented reality in medical education? / C. Kamphuis [et al.] // Perspect Med Educ. – 2014. – Vol. 3. – P. 300–311. – DOI: 10.1007/s40037-013-0107-7.
5. Kelly, D. Augmented reality learning environment for physiotherapy education / D. Kelly [et al.] // Physical Therapy Reviews. – 2018. – Vol. 23, Iss. 1. – P. 21–28. – DOI: 10.1080/10833196.2018.1447256.
6. Iqbal, J. A review on making things see: Augmented reality for futuristic virtual educator / J. Iqbal, M.S. Sidhu, S. Wang // Cogent Education. – 2017. – Vol. 4, Iss. 1. – DOI: 10.1080/2331186X.2017.1287392.
7. Turan, Z. The impact of mobile augmented reality in geography education: achievements, cognitive loads and views of university students / Z. Turan, E. Meral, I.F. Sahin // Journal of Geography in Higher Education. – 2018. – Vol. 42, Iss. 3. – P. 427–441. – DOI: 10.1080/03098265.2018.1455174.
8. Гриншкун, А. В. Об эффективности использования технологий дополненной реальности при обучении школьников информатике / А.В. Гриншкун // Вестник МГПУ. Серия «Информатика и информатизация образования». – 2016. – Т. 35, № 1. – С. 98–103. – EDN: VTSHV.

9. Кирьянов, А.Е. Технологии дополненной реальности в сфере образования / А.Е. Кирьянов [и др.] // *Инновации*. – 2020. – № 5. – С. 81–88. – DOI: 10.26310/2071-3010.2020.259.5.011. – EDN: SBPTSB.
10. Wang, Y.-H. Exploring the effectiveness of integrating augmented reality-based materials to support writing activities / Y.-H. Wang // *Computers & Education*. – 2017. – Vol. 113. – P. 162–176. – DOI: 10.1016/j.compedu.2017.04.013.
11. Mumtaz, K. An E-assessment framework for blended learning with augmented reality to enhance the student learning / K. Mumtaz [et al.] // *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*. – 2017. – Vol. 8, № 13. – P. 4419–4436. – DOI: 10.12973/eurasia.2017.00938a.
12. Chang, H.-Y. A comparison study of augmented reality versus interactive simulation technology to support student learning of a socio-scientific issue / H.-Y. Chang, Y.-S. Hsu, H.-K. Wu // *Interactive Learning Environments*. – 2016. – Vol. 6, № 24. – P. 1148–1161. – DOI: 10.1080/10494820.2014.961486.
13. Domínguez, E. R. Educating urban designers using augmented reality and mobile learning technologies / E.R. Domínguez // *RIED – Revista Iberoamericana de Educación a Distancia*. – 2017. – Vol. 20, No. 2. – P. 141–165. – DOI: 10.5944/ried.20.2.17675.
14. Montoya, M. H. Evaluating the effect on user perception and performance of static and dynamic contents deployed in augmented reality based learning application / M.H. Montoya, C.A. Díaz, G.A. Moreno // *Eurasia Journal of Mathematics, Science & Technology Education*. – 2017. – Vol. 13, Iss. 2. – P. 301–317. – DOI: 10.12973/eurasia.2017.00617a.
15. Bendicho, P. F. Effect on academic procrastination after introducing augmented reality / P.F. Bendicho [et al.] // *Eurasia Journal of Mathematics, Science & Technology Education*. – 2017. – Vol. 13, Iss. 2. – P. 319–330. – DOI: 10.12973/eurasia.2017.00618a.
16. Salinas, P. Understanding the conics through augmented reality / P. Salinas, R. Pulido // *Eurasia Journal of Mathematics, Science & Technology Education*. – 2017. – Vol. 13, Iss. 2. – P. 341–354. – DOI: 10.12973/eurasia.2017.00620a.
17. Carrera, C.C. Landscape interpretation with augmented reality and maps to improve spatial orientation skill / C.C. Carrera, L.A.B. Asensio // *Journal of Geography in Higher Education*. – 2017. – Vol. 41, Iss. 1. – P. 119–133. – DOI: 10.1080/03098265.2016.1260530.
18. Martin-Gonzalez, A. Usability evaluation of an augmented reality system for teaching Euclidean vectors / A. Martin-Gonzalez, A. Chi-Poot, V. Uc-Cetina // *Innovations in Education and Teaching International*. – 2016. – Vol. 53, Iss. 6. – P. 627–696. – DOI: 10.1080/14703297.2015.1108856.
19. Cheng, K.-H. Reading an augmented reality book: An exploration of learners' cognitive load, motivation, and attitudes / K.-H. Cheng // *Australasian Journal of Educational Technology*. – 2017. – Vol. 33, No. 4. – P. 53–69. – DOI: 10.14742/ajet.2820.
20. Juan, M. C. A mobile augmented reality system for the learning of dental morphology / M. C. Juan [et al.] // *Digital Education Review*. – 2016. – No. 30. – P. 234–247.
21. Harley, J.M. Comparing virtual and location-based augmented reality mobile learning: Emotions and learning outcomes / J.M. Harley [et al.] // *Educational Technology Research and Development*. – 2016. – Vol. 64, No. 3. – P. 359–388. – DOI: 10.1007/s11423-015-9420-7.
22. Булгаков, В.В. Иммерсивная форма подготовки: актуальность и перспективы внедрения в образовательный процесс вузов МЧС России / В.В. Булгаков // *Вестник МГПУ. Серия «Информатика и информатизация образования»*. – 2020. – Т. 54, № 4. – С. 68–78. – EDN: FBWWE0.
23. Halson, Sh.L. Monitoring Training Load to Understand Fatigue in Athletes / Sh.L. Halson // *Sports Medicine*. – 2014. – Vol. 44. – P. 139–147. – DOI: 10.1007/s40279-014-0253-z.
24. Агафонова, М.Е. Методы контроля и критерии функциональной подготовленности, применимые в условиях тренировочных занятий и соревнований / М.Е. Агафонова // *Современные модели медико-биологического сопровождения высококвалифицированных спортсменов: сб. ст. / Белорус. гос. ун-т физической культуры*. – Минск, 2021. – С. 3–12. – Режим доступа: https://www.sportedu.by/wp-content/uploads/2019/10/Nauchno-prakticheskij-seminar-8_6.04.pdf. – Дата доступа: 01.07.2022.

Экспериментальный макет тренажера с имитацией эффектов физических воздействий в условиях виртуальной реальности для подготовки спасателей-пожарных

Experimental model of the simulator with imitation of the effects of physical impacts in virtual reality for the training of firefighters

Полевода Иван Иванович

кандидат технических наук, доцент
Государственное учреждение образования
«Университет гражданской защиты
Министерства по чрезвычайным ситуациям
Республики Беларусь»,
начальник университета

Адрес: ул. Машиностроителей, 25,
220118, г. Минск, Беларусь
Email: ip@ucp.by
ORCID: 0000-0003-2469-3553

Ivan I. Palevoda

PhD in Technical Sciences, Associate Professor
State Educational Establishment «University
of Civil Protection of the Ministry for Emergency
Situations of the Republic of Belarus»,
Head of University

Address: Mashinostroiteley str., 25,
220118, Minsk, Belarus
Email: ip@ucp.by
ORCID: 0000-0003-2469-3553

Рябцев Виталий Николаевич

кандидат технических наук, доцент
Государственное учреждение образования
«Университет гражданской защиты
Министерства по чрезвычайным ситуациям
Республики Беларусь», кафедра
автоматических систем безопасности,
начальник кафедрой

Адрес: ул. Машиностроителей, 25,
220118, г. Минск, Беларусь
Email: v.reabtsev@ucp.by
ORCID: 0000-0002-2830-591X

Vitaly N. Ryabtsev

PhD in Technical Sciences, Associate Professor
State Educational Establishment «University
of Civil Protection of the Ministry for Emergency
Situations of the Republic of Belarus»,
Chair of Automatic Safety Systems,
Head of the Chair

Address: Mashinostroiteley str., 25,
220118, Minsk, Belarus
Email: v.reabtsev@ucp.by
ORCID: 0000-0002-2830-591X

Лихоманов Алексей Олегович

кандидат технических наук
Государственное учреждение образования
«Университет гражданской защиты
Министерства по чрезвычайным ситуациям
Республики Беларусь», кафедра
автоматических систем безопасности, доцент

Адрес: ул. Машиностроителей, 25,
220118, г. Минск, Беларусь
Email: alexlikh20@gmail.com
ORCID: 0000-0002-9374-1486

Aleksey O. Likhomanov

PhD in Technical Sciences
State Educational Establishment «University
of Civil Protection of the Ministry for Emergency
Situations of the Republic of Belarus»,
Chair of Automatic System Security,
Associate Professor

Address: Mashinostroiteley str., 25,
220118, Minsk, Belarus
Email: alexlikh20@gmail.com
ORCID: 0000-0002-9374-1486

Навроцкий Олег Дмитриевич

кандидат технических наук, доцент
Государственное учреждение образования
«Университет гражданской защиты
Министерства по чрезвычайным ситуациям
Республики Беларусь», кафедра
автоматических систем безопасности, доцент

Адрес: ул. Машиностроителей, 25,
220118, г. Минск, Беларусь
Email: Oleg.Navrotsky@gmail.com
ORCID: 0000-0002-4137-2519

Oleg D. Navrotskiy

PhD in Technical Sciences, Associate Professor
State Educational Establishment «University
of Civil Protection of the Ministry for Emergency
Situations of the Republic of Belarus»,
Chair of Automatic System Security,
Associate Professor

Address: Mashinostroiteley str., 25,
220118, Minsk, Belarus
Email: Oleg.Navrotsky@gmail.com
ORCID: 0000-0002-4137-2519

Грачулин Александр Владимирович

кандидат технических наук, доцент

Министерство по чрезвычайным ситуациям
Республики Беларусь, отдел науки
и инновационного развития,
начальник отдела

Адрес: ул. Революционная, 5,
220030, г. Минск, Беларусь

Email: Grachulin_a@mail.ru

ORCID: 0000-0003-3832-8258

Aleksandr V. Grachulin

PhD in Technical Sciences, Associate Professor

Ministry of Emergency Situations
of the Republic of Belarus, Department
of Scientific and Innovation Activity,
Head of Department

Address: Revolyutsionnaya str., 5,
220030, Minsk, Belarus

Email: Grachulin_a@mail.ru

ORCID: 0000-0003-3832-8258

Гапанюк Дмитрий Владимирович

кандидат физико-математических наук,
доцент

Белорусский государственный
технологический университет,
проректор по воспитательной работе

Адрес: ул. Свердлова, 13а,
220006, г. Минск, Беларусь

Email: gdv@belstu.by

ORCID: 0000-0001-6792-7896

Dmitriy V. Gapanyuk

PhD in Physics and Mathematics Sciences,
Associate Professor

Belarusian State Technological University,
Vice-rector for Educational Work

Address: Sverdlova str., 13a,
220006, Minsk, Belarus

Email: gdv@belstu.by

ORCID: 0000-0001-6792-7896

Морозов Артем Александрович

Государственное учреждение образования
«Университет гражданской защиты
Министерства по чрезвычайным ситуациям
Республики Беларусь», кафедра
ликвидации чрезвычайных ситуаций,
старший преподаватель

Адрес: ул. Машиностроителей, 25,
220118, г. Минск, Беларусь

Email: morozow974@gmail.com

ORCID: 0000-0001-8079-2578

Artem A. Morozov

State Educational Establishment «University
of Civil Protection of the Ministry for Emergency
Situations of the Republic of Belarus»,
Chair of Emergency Elimination,
Senior Lecturer

Address: Mashinostroiteley str., 25,
220118, Minsk, Belarus

Email: morozow974@gmail.com

ORCID: 0000-0001-8079-2578

Климовцов Василий Михайлович

кандидат технических наук, доцент

Академия Государственной противопожарной
службы МЧС России, учебно-научный
комплекс пожарной и аварийно-спасательной
техники, начальник комплекса

Адрес: ул. Бориса Галушкина, 4,
129366, г. Москва, Россия

Email: V.Klimovcov@academygps.ru

ORCID: 0000-0002-3705-3128

Vasily M. Klimovtsov

PhD in Technical Sciences, Associate Professor

Academy of State Fire Service of EMERCOM
of Russia, Educational and Scientific Complex
of Fire and Rescue Equipment,
Head of Complex

Address: Borisa Galushkina str., 4,
129366, Moscow, Russia

Email: V.Klimovcov@academygps.ru

ORCID: 0000-0002-3705-3128

Винярский Георгий Владимирович

Государственное учреждение образования «Университет гражданской защиты Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь», кафедра ликвидации чрезвычайных ситуаций, старший преподаватель

Адрес: ул. Машиностроителей, 25, 220118, г. Минск, Беларусь
Email: jora54367@gmail.com
ORCID: 0000-0003-4962-7763

Georgiy V. Vinyarskiy

State Educational Establishment «University of Civil Protection of the Ministry for Emergency Situations of the Republic of Belarus», Chair of Emergency Elimination, Senior Lecturer

Address: Mashinostroiteley str., 25, 220118, Minsk, Belarus
Email: jora54367@gmail.com
ORCID: 0000-0003-4962-7763

Шинкоренко Кирилл Евгеньевич

Государственное учреждение образования «Университет гражданской защиты Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь», кафедра автоматических систем безопасности, преподаватель

Адрес: ул. Машиностроителей, 25, 220118, г. Минск, Беларусь
Email: kirill_shinkorenko@inbox.ru
ORCID: 0000-0003-4946-9339

Kirill E. Shinkorenko

State Educational Establishment «University of Civil Protection of the Ministry for Emergency Situations of the Republic of Belarus», Chair of Automatic Safety Systems, Lecturer

Address: Mashinostroiteley str., 25, 220118, Minsk, Belarus
Email: kirill_shinkorenko@inbox.ru
ORCID: 0000-0003-4946-9339

Гусаров Игорь Сергеевич

Государственное учреждение образования «Университет гражданской защиты Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь», факультет предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций, курсант

Адрес: ул. Машиностроителей, 25, 220118, г. Минск, Беларусь
Email: igor.gusarov.2000@mail.ru
ORCID: 0000-0002-0665-8212

Igor' S. Gusarov

State Educational Establishment «University of Civil Protection of the Ministry for Emergency Situations of the Republic of Belarus», Faculty of Emergency Prevention and Elimination, cadet

Address: Mashinostroiteley str., 25, 220118, Minsk, Belarus
Email: igor.gusarov.2000@mail.ru
ORCID: 0000-0002-0665-8212

Бобарика Илья Владимирович

Государственное учреждение образования «Университет гражданской защиты Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь», факультет предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций, курсант

Адрес: ул. Машиностроителей, 25, 220118, г. Минск, Беларусь
Email: Kimwar18@gmail.com
ORCID: 0000-0002-9229-3730

Ilya V. Bobarika

State Educational Establishment «University of Civil Protection of the Ministry for Emergency Situations of the Republic of Belarus», Faculty of Emergency Prevention and Elimination, cadet

Address: Mashinostroiteley str., 25, 220118, Minsk, Belarus
Email: Kimwar18@gmail.com
ORCID: 0000-0002-9229-3730

EXPERIMENTAL MODEL OF THE SIMULATOR WITH IMITATION OF THE EFFECTS OF PHYSICAL IMPACTS IN VIRTUAL REALITY FOR THE TRAINING OF FIREFIGHTERS

Palevoda I.I., Ryabtsev V.N., Likhomanov A.O., Navrotskiy O.D., Grachulin A.V., Gapanyuk D.V., Morozov A.A., Klimovtsov V.M., Vinyarskiy G.V., Shinkorenko K.E., Gusarov I.S., Bobarika I.V.

Purpose. To develop an experimental model of a simulator for the training of firefighters, including software and elements of simulating the effects of physical impacts on students in virtual reality conditions, as well as to investigate the effect of tactile feedback effects on students.

Methods. The general methodology of the work included the use of theoretical research methods (analysis, synthesis, comparison). The impact of tactile feedback effects on students was determined by measuring their heart rate in the randomized study with two parallel groups.

Findings. Based on the analysis of the experience of using virtual and augmented reality technologies in educational activities, the purpose, composition, structure and functions of the experimental model of the simulator with imitation of the effects of physical impacts in virtual reality for the training of firefighters (EMS) are formulated. EMS includes VR headset (to control the simulation and transmit visual and sound effects), VR suit (to provide tactile feedback by the electrical stimulation of neuromuscular structures) and original software. It allows students to be immersed in a virtual environment that simulates conditions of the emergency situation (fire in an apartment building) and the impact of dangerous factors on them. Using EMS, the influence of tactile feedback effects on students was studied. It is shown that the use of EMS makes it possible to reduce the number of mistakes made by students when extinguishing a fire in an apartment building in a virtual simulation by 2.5 to 4.0 times compared to using virtual reality technologies without applying tactile feedback effects.

Application field of research. The results of the work can be used to create a simulator with imitation of the effects of physical impacts in virtual reality in order to use it in the educational process for the training of firefighters.

Keywords: virtual reality, augmented reality, simulator, simulation of physical impacts, emergency rescue operations, firefighter, rescuer, VR suit, VR headset, VR helmet.

(The date of submitting: July 13, 2022)

REFERENCES

1. Sobolev V.Yu., Kiseleva O.V. Interaktivnye metody obucheniya kak osnova formirovaniya kompetentsiy [Interactive teaching methods as the basis for the formation of competencies]. *Vysshee obrazovanie segodnya*, 2014. No. 9. Pp. 70–74. (rus). EDN: TAAHDZ.
2. Andrushko D.Yu. Primenenie tekhnologiy virtual'noy i dopolnennoy real'nosti v obrazovatel'nom protsesse: problemy i perspektivy [Application of virtual and augmented reality technology in educational process: issues and perspectives]. *Scientific Review. Pedagogical science*, 2018. No. 6. Pp. 5–10. (rus). EDN: YVRGBV.
3. Herron J. Augmented reality in medical education and training. *Journal of Electronic Resources in Medical Libraries*, 2016. Vol. 13, Iss. 2. Pp. 51–55. DOI: 10.1080/15424065.2016.1175987.
4. Kamphuis C., Barsom E., Schijven M., Christoph. N. Augmented reality in medical education? *Perspect Med Educ*, 2014. Vol. 3. Pp. 300–311. DOI: 10.1007/s40037-013-0107-7.
5. Kelly D., Hoang T.N., Reinoso M., Joukhadar Z., Clements T., Vetere F. Augmented reality learning environment for physiotherapy education. *Physical Therapy Reviews*, 2018. Vol. 23, Iss. 1. Pp. 21–28. DOI: 10.1080/10833196.2018.1447256.
6. Iqbal J., Sidhu M.S., Wang S. A review on making things see: Augmented reality for futuristic virtual educator. *Cogent Education*, 2017. Vol. 4, Iss. 1. DOI: 10.1080/2331186X.2017.1287392.
7. Turan Z., Meral E., Sahin I.F. The impact of mobile augmented reality in geography education: achievements, cognitive loads and views of university students. *Journal of Geography in Higher Education*, 2018. Vol. 42, Iss. 3. Pp. 427–441. DOI: 10.1080/03098265.2018.1455174.
8. Grinshkun A.V. Ob effektivnosti ispol'zovaniya tekhnologiy dopolnennoy real'nosti pri obuchenii shkol'nikov informatike [On the effectiveness of the use of augmented reality at teaching students

- computer science]. *MCU Journal of Informatics and Informatization of Education*, 2016. Vol. 35, No. 1. Pp. 98–103. (rus). EDN: VTIIHV.
9. Kir'yanov A.E., Yilmaz R.M., Maslov D.V., Masyuk N.N., Vorob'ev B.A. Tekhnologii dopolnennoy real'nosti v sfere obrazovaniya [Technology of augmented reality in education]. *Innovations*, 2020. No. 5. Pp. 81–88. (rus). DOI: 10.26310/2071-3010.2020.259.5.011. EDN: SBPTSB.
 10. Wang Y.-H. Exploring the effectiveness of integrating augmented reality-based materials to support writing activities. *Computers & Education*, 2017. Vol. 113. Pp. 162–176. DOI: 10.1016/j.compedu.2017.04.013.
 11. Mumtaz K., Iqbal M.M., Khalid S., Rafiq T., Owais S.M., Al Achhab M. An E-assessment framework for blended learning with augmented reality to enhance the student learning. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 2017. Vol. 8, No. 13. Pp. 4419–4436. DOI: 10.12973/eurasia.2017.00938a.
 12. Chang H.-Y., Hsu Y.-S., Wu H.-K. A comparison study of augmented reality versus interactive simulation technology to support student learning of a socio-scientific issue. *Interactive Learning Environments*, 2016. Vol. 6, No. 24. Pp. 1148–1161. DOI: 10.1080/10494820.2014.961486.
 13. Domínguez E.R. Educating urban designers using augmented reality and mobile learning technologies. *RIED – Revista Iberoamericana de Educación a Distancia*, 2017. Vol. 20, No. 2. Pp. 141–165. DOI: 10.5944/ried.20.2.17675.
 14. Montoya M.H., Díaz C.A., Moreno G.A. Evaluating the effect on user perception and performance of static and dynamic contents deployed in augmented reality based learning application. *Eurasia Journal of Mathematics, Science & Technology Education*, 2017. Vol. 13, Iss. 2. Pp. 301–317. DOI: 10.12973/eurasia.2017.00617a.
 15. Fabiani Bendicho P., Efen Mora C., Añorbe-Díaz B., Rivero-Rodríguez P. Effect on academic procrastination after introducing augmented reality. *Eurasia Journal of Mathematics, Science & Technology Education*, 2017. Vol. 13, Iss. 2. Pp. 319–330. DOI: 10.12973/eurasia.2017.00618a.
 16. Salinas P., Pulido R. Understanding the conics through augmented reality. *Eurasia Journal of Mathematics, Science & Technology Education*, 2017. Vol. 13, Iss. 2. Pp. 341–354. DOI: 10.12973/eurasia.2017.00620a.
 17. Carrera C.C., Asensio L.A.B. Landscape interpretation with augmented reality and maps to improve spatial orientation skill. *Journal of Geography in Higher Education*, 2017. Vol. 41, Iss. 1. Pp. 119–133. DOI: 10.1080/03098265.2016.1260530.
 18. Martin-Gonzalez A., Chi-Poot A., Uc-Cetina V. Usability evaluation of an augmented reality system for teaching Euclidean vectors. *Innovations in Education and Teaching International*, 2016. Vol. 53, Iss. 6. Pp. 627–696. DOI: 10.1080/14703297.2015.1108856.
 19. Cheng K.-H. Reading an augmented reality book: An exploration of learners' cognitive load, motivation, and attitudes. *Australasian Journal of Educational Technology*, 2017. Vol. 33, No. 4. Pp. 53–69. DOI: 10.14742/ajet.2820.
 20. Juan M.C., Alexandrescu L., Folguera F., García-García I. A mobile augmented reality system for the learning of dental morphology. *Digital Education Review*, 2016. No. 30. Pp. 234–247.
 21. Harley J.M., Poitras E.G., Jarrell A., Duffy M.C., Lajoie S.P. Comparing virtual and location-based augmented reality mobile learning: Emotions and learning outcomes. *Educational Technology Research and Development*, 2016. Vol. 64, No. 3. Pp. 359–388. DOI: 10.1007/s11423-015-9420-7.
 22. Bulgakov V.V. Immersivnaya forma podgotovki: aktual'nost' i perspektivy vnedreniya v obrazovatel'nyy protsess vuzov MChS Rossii [Immersive Form of Training: Relevance and Prospects of Implementation in the Educational Process of Higher Education Institutions of the Ministry of Emergency Situations of Russia]. *MCU Journal of Informatics and Informatization of Education*, 2020. Vol. 54, No. 4. Pp. 68–78. (rus). EDN: FBWWEO.
 23. Halson Sh.L. Monitoring Training Load to Understand Fatigue in Athletes. *Sports Medicine*, 2014. Vol. 44. Pp. 139–147. DOI: 10.1007/s40279-014-0253-z.
 24. Agafonova M.E. Metody kontrolya i kriterii funktsional'noy podgotovlennosti, primenimye v usloviyakh trenirovochnykh zanyatiy i sorevnovaniy [Methods of control and criteria for functional readiness applied in the conditions of training sessions and competitions]. *Sovremennyye modeli mediko-biologicheskogo soprovozhdeniya vysokokvalifitsirovannykh sportsmenov* [Modern models of medical and biological support for highly qualified athletes]: collection of articles. Minsk: Belarusian State University of Physical Education, 2021. Pp. 3–12. Available at: https://www.sportedu.by/wp-content/uploads/2019/10/Nauchno-prakticheskij-seminar-8_6.04.pdf (accessed: July 1, 2022). (rus)

АДАПТАЦИЯ УСЛОВИЙ УЧЕБНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ КУРСАНТОВ В СООТВЕТСТВИИ С ОСОБЕННОСТЯМИ ПРОФЕССИОНАЛЬНЫХ ФУНКЦИЙ ПО ТУШЕНИЮ ПОЖАРОВ

Ермилов А.В., Никишов С.Н., Баканов М.О.

Цель. Учебно-воспитательный процесс образовательной организации высшего образования МЧС России обязан максимально приближать учебную деятельность курсантов к профессиональной на месте пожара с учетом сохранения жизни и здоровья обучающегося, а также требований нормативных правовых актов Российской Федерации. Данный аспект определяет необходимость выделить компоненты, которые будут лежать в основе учебной деятельности курсантов на объектах базы практики, а также разработки сценариев для визуализации профессиональной деятельности в среде специального программного обеспечения.

Методы. В качестве методов исследования применялся анализ специальной литературы, профессиональной деятельности сотрудника МЧС России на месте вызова, а также компонентов профессиональной среды.

Результаты. Выделены требования к организации учебной деятельности курсантов по профессиональному назначению: профессиональная подготовка, определяемая операциональными действиями сотрудника МЧС России в соответствии с содержанием этапов боевых действий по тушению пожара; организация учебно-воспитательного процесса в среде, максимально приближенной к реальной; реализация учебной деятельности в строгом соответствии с требованиями нормативных правовых актов МЧС России. На основе вышеуказанных требований разработана модель ситуационной задачи. Решение задачи предусматривает последовательное выполнение 12 этапов. Каждый этап отражает операциональные действия курсантов по тушению пожара с учетом требований нормативных правовых актов МЧС России.

Область применения исследований. Модель ситуационной задачи может лежать в основе моделирования профессиональной деятельности на учебных местах, представляющих модель объекта экономики в реальную величину, а также сценария специального программного обеспечения для ЭВМ. Этапы решения задачи позволяют оценить уровень профессиональной подготовленности курсантов с целью своевременной корректировки учебно-воспитательного процесса.

Ключевые слова: курсант, учебная деятельность, профессиональная деятельность, профессиональная среда, профессиональная подготовка, ситуационная задача, деструктивные события, становление личности.

(Поступила в редакцию 25 февраля 2022 г.)

Введение

Связанная с пожарами чрезвычайная ситуация ликвидируется силами и средствами пожарно-спасательных подразделений, в частности прибывшим на место вызова личным составом. На профессиональную деятельность сотрудников МЧС России оказывает влияние возможность уголовного наказания за нарушение требований нормативных правовых актов МЧС России. Основные статьи Уголовного кодекса Российской Федерации, за которые привлекаются должностные лица к уголовной ответственности: ст. 25 «Преступление, совершенное умышленно», ст. 26 «Преступление, совершенное по неосторожности», ст. 125 «Оставление в опасности», ст. 293 «Халатность»¹.

¹ Уголовный кодекс Российской Федерации: принят Гос. Думой 24 мая 1996 г.: одобрен Советом Федерации 5 июня 1996 г. // Официальный интернет-портал правовой информации: гос. система правовой информации. – Режим доступа: <http://pravo.gov.ru/proxy/ips/?docbody=&nd=102041891&intelsearch=%F3>. – Дата доступа: 16.02.2022.

В качестве примера можно привести тушение пожара в торговом центре «Зимняя вишня» в Кемерово (2018 г.)². Из-за неправильных действий сотрудники МЧС России привлечены к уголовной ответственности. Так, первый руководитель тушения пожара не определил кратчайший путь к месту нахождения пострадавших. Руководитель дежурной смены службы пожаротушения и проведения аварийно-спасательных работ не обеспечил эффективное управление силами и средствами, в том числе проведение разведки.

Еще один пример – пожар на складе в Москве (ул. Амурская, 2016 г.)³. По статье «Халатность» привлечены к уголовной ответственности руководитель тушения пожара и начальник оперативного штаба на месте пожара. Сотрудники МЧС России неправильно провели разведку пожара, что привело к гибели восьми пожарных.

Указанная особенность осуществления профессиональной деятельности сотрудниками МЧС России обуславливает высокие требования, предъявляемые к уровню знаний, навыков, умений и психологических особенностей личности. Это определяет необходимость организации высокого уровня профессиональной подготовки курсантов в строгом соответствии с требованиями нормативных правовых актов МЧС России.

Вопрос совершенствования форм и методов подготовки курсантов широко раскрыт в трудах В.В. Булгакова. Автором разработана методика практической подготовки, направленная на приобретение курсантами умений и навыков будущей деятельности, а также на формирование физических и психологических качеств, необходимых для ее эффективной реализации. В.В. Булгаков пришел к выводу, что при подготовке необходимо учитывать осуществление отдельных элементов профессиональной деятельности в рамках индивидуальных и групповых нормативов [1, с. 246; 2].

Индивидуальная и групповая деятельность – основа профессионального становления курсанта. Б.Д. Эльконин подчеркивает, что индивидуальная деятельность способствует преобразованию собственного опыта [3, с. 30]. В процессе осуществления деятельности личность осмысливает правильность выполнения ее отдельных элементов, рассматривая свои возможности, строя логические связи и визуализируя конечный результат.

Групповая деятельность курсантов реализуется в рамках профессиональной деятельности дежурного караула в составе одного и более пожарных автомобилей основного назначения. Отделениями осуществляется боевое развертывание сил и средств, где каждый курсант выполняет операциональные действия номеров боевого расчета. От быстроты боевого развертывания зависит успешность решения основной боевой задачи, направленной на спасение людей, достижение локализации и ликвидации пожара в кратчайшие сроки⁴.

Важность командного взаимодействия указывается в исследованиях Е.А. Проненко и М.В. Буняевой. По мнению авторов, первостепенная основа командного взаимодействия принадлежит представлению субъектов деятельности о ее содержании. Так, через процесс совместной мыслительной деятельности у личности формируются общие психологические новообразования [4, с. 45]. Одним из них является сплоченность, которая способна поддерживать совместное лидерство в команде.

Учебная деятельность курсантов должна осуществляться в среде, способствующей профессиональному становлению личности, а именно проявлению профессионально значимых качеств и накоплению опыта ликвидации чрезвычайной ситуации. В трудах

² Суд вынес приговор по делу о гибели 60 человек в торговом центре «Зимняя вишня» // ngs.ru: Новости Новосибирска. – 2021, 29 окт. – Режим доступа: <https://ngs.ru/text/criminal/2021/10/29/70223345/>. – Дата доступа: 16.02.2022.

³ Суд огласит приговор двум пожарным по делу о гибели их коллег при тушении пожара в Москве // tass.ru: Новости в России и мире – ТАСС. – 2021, 8 апр. – Режим доступа: <https://tass.ru/proisshestiya/11093279>. – Дата доступа: 16.02.2022.

⁴ Приказ МЧС России от 16.10.2017 № 444 «Об утверждении Боевого устава подразделений пожарной охраны, определяющего порядок организации тушения пожаров и проведения аварийно-спасательных работ» // МЧС России. – 2017. – Ст. 30.

Л.В. Мардахаева подчеркивается, что организация среды, благоприятной для формирования человека, обусловлена воздействием социально-психологических факторов этой среды [5]. Автор указывает, что в среде организуется деятельность и общение между субъектами деятельности. Таким образом, среда является средством профессионального воспитания курсантов, а именно способствует формированию активной позиции защитника отечества, которому необходимо исполнить нравственный и профессиональный долг при решении основной боевой задачи [6, с. 130].

В исследовании Ю.С. Шойгу указывается, что фактор риска является неотъемлемой составляющей среды, в которой осуществляется профессиональная деятельность сотрудника МЧС России [7, с. 76]. Проблема влияния фактора риска на деятельность пожарного-спасателя широко раскрыта в исследованиях В.В. Булгакова, Е.В. Битюцкой, Е.И. Гермацкой, Н.А. Лебедевой, Ю.Р. Цаликовой и др. В исследованиях Е.И. Гермацкой подчеркивается, что пожарные-спасатели осуществляют профессиональную деятельность в среде с наличием экстремальных условий труда [8, с. 437]. Среди стресс-факторов автором в большей степени выделяется угроза жизни и здоровью пожарного и пострадавших. Кроме того, на действия руководителя тушения пожара влияет необходимость оперативного принятия решений, а номеров расчета сложность использования технических средств пожаротушения.

В трудах В.В. Булгакова подчеркивается, что на содержание учебной деятельности курсантов оказывают непосредственное влияние условия работы пожарных, а именно вероятность получения физических и эмоциональных травм, физические нагрузки, угроза жизни, ответственность за принятые решения [1, с. 249]. Необходимость внедрения стресс-факторов в учебную деятельность подтверждается трудами Е.В. Битюцкой, Н.А. Лебедевой и Ю.Р. Цаликовой [9, с. 28]. Авторы пришли к выводу, что стрессогенные стимулы оказывают благоприятное воздействие на увеличение кратковременной памяти курсантов. Это влияет на устойчивость курсантов при решении задач в ситуации риска, а также рационального оценивания своих сил и возможностей.

Учебная деятельность может быть реализована не только на практике, но и в виртуальной среде. В исследованиях М.М. Тихонова, С.С. Бордак, Е.Н. Любимой, В.Н. Рябцева указывается, что совершенствование профессиональной подготовки в вузе МЧС Беларуси может быть также обеспечено внедрением специального программного обеспечения, способного моделировать деятельность при ликвидации чрезвычайной ситуации [10, с. 101].

Подготовленность курсантов как результат внедрения выделенных направлений профессиональной подготовки, должна соответствовать требованиям нормативных правовых актов МЧС России. С этой целью необходимо выделить способ, максимально приближающий учебную деятельность к профессиональной. Одним из направлений решения данной проблемы является моделирование профессиональных ситуаций, при решении которых обеспечивается проявление профессионально значимых качеств курсантов и накопление опыта ликвидации чрезвычайной ситуации [11, с. 74].

Основная часть

Результаты. Процесс выполнения основной боевой задачи можно представить в виде технологии деятельности, которая определяется этапами боевых действий по тушению пожара. В учебнике для пожарно-технических училищ Я.С. Повзика, П.П. Ключ и А.М. Матвейкина ликвидация чрезвычайной ситуации представляется в виде последовательного процесса, в котором есть общие и частные этапы тушения пожара [12, с. 54]. К общим этапам относятся: прием и обработка сообщения о пожаре, выезд и следование к месту вызова, прибытие к месту пожара, боевое развертывание, ликвидация горения, сбор и следование в место постоянной дислокации, восстановление боеготовности дежурного караула в подразделении. К частным этапам можно отнести спасение людей и проведение специальных работ.

В основе каждого этапа боевых действий лежит технология, реализуемая на основе ситуаций профессиональной деятельности. Данный вопрос первоначально поднимался в трудах А.М. Матвейкина [12–13]. Автор пришел к выводу, что процесс выполнения основной боевой задачи пожарно-спасательными подразделениями можно представить как определенную последовательность действий, другими словами алгоритм. Алгоритм состоит из четырех блоков, таких как: действия по тревоге, действия в пути следования, действия по тушению пожара, действия после тушения пожара. Алгоритм, разработанный А.М. Матвейкиным, позволяет:

1) выявить типичные ситуации в процессе выполнения основной боевой задачи и дает возможность отработать до автоматизма навыки принятия решения.

2) показать последовательность действий руководителя тушения пожара при решении возникшей профессиональной ситуации.

3) выявить недочеты в действиях руководителя тушения пожара, слабые места в его профессиональной подготовке.

Таким образом, в исследовании под технологией функциональной деятельности (далее – технология деятельности) нами понимается последовательная реализация операционных действий сотрудником в соответствии с особенностями развития пожара и требованиями нормативных правовых актов МЧС России, обеспечивающих успешность ликвидации чрезвычайной ситуации в зависимости от тактических возможностей подразделений пожарной охраны на месте вызова (пожар, наводнение, выброс аварийно-химических опасных веществ, дорожно-транспортное происшествие, аварийная посадка воздушного судна на взлетно-посадочную полосу и др.).

Операционные действия наиболее полно реализуются на уровне должности начальника караула (руководителя тушения пожара). В исследованиях П.М. Евграфова и И.П. Евграфова подчеркивается, что руководитель тушения пожара в стрессовом состоянии допускает принятие неоптимальных и ошибочных решений [14, с. 22]. Решения принимаются на интуитивном уровне на основе некоей расчетной матрицы, которая сложилась у сотрудника в голове за время профессиональной деятельности и которая описывает общие принципы пожарной тактики.

Выделенная технология деятельности имеет общий и частный характер реализации, состоит из таких блоков, как: организация деятельности, определенная совокупность операционных действий (реализация деятельности), факторы риска профессиональной ситуации. Общая технология деятельности позволяет построить алгоритм реализации операционных действий руководителя тушения пожара с момента получения сообщения о чрезвычайной ситуации, до момента ее ликвидации. Частная технология деятельности позволяет построить алгоритмы решения профессиональных ситуаций отдельно взятого этапа.

Таким образом, становится возможным выделить основу технологии деятельности, в которой присутствует деятельность начальника караула, номеров боевого расчета на пожарном автомобиле, а также деятельность по взаимопомощи и взаимовыручке в среде с наличием факторов риска [15, с. 337] (рис. 1).

Обеспечение общей технологии реализуется через операционные действия начальника караула (руководителя тушения пожара). В свою очередь, выполнение технологии деятельности этапов ликвидации чрезвычайной ситуации зависит от участников боевых действий (номеров расчета). Эта особенность лежит в основе концептуальной идеи, которая заключается в возможности создания моделей профессиональных ситуаций, при решении которых курсанты будут реализовывать определенную последовательность операционных действий. Таким образом, через учебную деятельность курсанты приобретают опыт ликвидации чрезвычайной ситуации в профессиональной среде, способствующей проявлению необходимых профессионально значимых качеств личности.



T(N) – частная технология деятельности боевого этапа;

ОпД(N) – операциональные действия частной технологии деятельности

Рисунок 1. – Основа технологии функциональной деятельности ликвидации чрезвычайной ситуации

На основе анализа психолого-педагогической литературы [1–4; 8–9; 11], компонентов профессиональной среды [5–7; 9–10] и деятельности сотрудника МЧС России на месте вызова [12–13] разработана модель обучения, максимально приближающая учебную деятельность курсантов к реальной (рис. 2).



ОпД(N)НК и ОпД(N)пож – операциональные действия начальника караула и пожарного

Рисунок 2. – Модель организации учебной деятельности курсантов в области тушения пожаров

С этой целью технология ликвидации чрезвычайной ситуации разбита на 12 этапов:

- 1) построение у автомобиля, постановка задач руководителем тушения пожара (начальником караула);
- 2) подготовка пожарного оборудования и инструмента;
- 3) выполнение рабочей проверки дыхательного аппарата со сжатым воздухом;
- 4) включение в дыхательный аппарат со сжатым воздухом;
- 5) вход в объект пожара / задымленную зону;
- 6) движение по объекту пожара;
- 7) обнаружение и спасение «пострадавшего»;
- 8) локализация «очага пожара»;
- 9) ликвидация «очага пожара»;
- 10) выход из объекта пожара (задымленной зоны);
- 11) выключение из дыхательного аппарата со сжатым воздухом;
- 12) сбор и готовность к следованию в место постоянной дислокации.

Этапы позволяют преподавателям специальных кафедр моделировать составляющие профессиональной среды на каждом этапе решения учебной задачи и создавать следующие условия, максимально приближенные к реальным:

- 1) тактические возможности дежурного караула (одно отделение на основном пожарном автомобиле);

2) место расположения очага пожара (урна для бумаги, возгорание окурка, короткое замыкание в электрическом щитке, возгорание электробытовых приборов, возгорание навесного потолка, возгорание электробытовых приборов и т.д.);

3) внешние признаки пожара (при входе в объект пожара густой дым, при входе в объект пожара в густой дым и эвакуация людей с криком о помощи, при входе в объект пожара эвакуация людей с криком о помощи и т.д.);

4) обстановка внутри помещения (величина площади пожара, открытое пламя по твердым горючим материалам, скрытое горение и т.д.);

5) количество пострадавших и места их расположения;

6) погодные условия (скорость ветра, время суток, время года, осадки (дождь, снег) и т.д.);

7) деструктивные события:

– основные (требования к способностям личности): блокировка входной двери в помещении с очагом, размыкание полугаек рабочей рукавной линии, разрушение остекления с последующим выбросом пламени и т.д.;

– отвлекающие (требования к готовности личности): обрушение осветительного оборудования; обрушение вентиляционных каналов; разрушение остекления окон; потолочный огонь (происходит, когда тушат очаг пожара); падение материальных ценностей с полок, стеллажей и т.д.;

8) звуковые отвлекающие эффекты:

– внутри здания: крики о помощи при наличии пострадавших, звук пламени, звук работающих водяных стволов, звук радиоэфира от радиостанции, звук перемещения пожарных, звук редуктора СИЗОД, звук срабатывания звукового сигнализатора СИЗОД, звук истечения жидкости под давлением, звук разбившегося стекла, звук воспламенения легковоспламеняющейся жидкости, звук стонов пострадавших, звук взаимодействия лома с полом, звук капающей воды в воду, звук открывания дверных проемов, звук падающих материальных ценностей и т.д.;

– снаружи здания: звук сирен; звук работы двигателей пожарных автомобилей; звук работы насосов пожарных автомобилей; звук проезжающего автотранспорта; звук дождя, ветра; звук открывания (закрывания) вентиля трехходового разветвления; приглушенные шумовые эффекты, доносящиеся из здания; звук открывания крышки колодца гидранта и т.д.

Обсуждение. Разработанные требования к организации учебной деятельности курсантов имеют несколько направлений реализации в учебно-воспитательном процессе вуза МЧС России. Данные направления обусловлены развитием полигонной материально-технической базы и многофункциональных учебно-тренажерных комплексов. Материально-технические базы совершенствуются путем:

– создания учебных материальных моделей объектов пожара в реальную величину для комплексной подготовки курсантов по профессиональному назначению, таких как железнодорожный транспорт, авиационный транспорт, метро, административные и жилые здания, нефтебаза и др.;

– создания тренажеров для подготовки курсантов к ликвидации частных профессиональных ситуаций, таких как: работа в узком тоннеле или коллекторе, ликвидация утечки жидкости из трубопроводов под давлением, разбор завалов, работа в подвалах, заполненных аварийно-химическими отравляющими веществами и др.

– внедрения тренажеров, таких как: УТК «Лава», УТК «Уголек», УТК «Грот» и др.

Учебные места позволяют преподавателям организовывать индивидуальные и групповые занятия с учетом требований нормативных правовых актов МЧС России. Внедрение выделенных требований позволит моделировать профессиональные ситуации и выявить уровень развития обучающихся и провалы в их подготовке. Это позволит осуществить

своевременную коррекцию программы обучения с учетом индивидуальных предрасположенностей каждого курсанта.

Многофункциональные учебно-тренажерные комплексы совершенствуются созданием специального программного обеспечения для ЭВМ, которое обеспечивает симуляцию профессиональной деятельности сотрудника МЧС России в виртуальной среде. Одним из основных принципов профессиональной подготовки курсантов является сохранение жизни и здоровья обучающегося. Вследствие этого уровень сложности факторов риска, воздействующих на личность в процессе ее профессиональной подготовки, существенно ограничен. Таким образом, выделенные требования могут лежать в основе разработки сценариев с использованием VR-технологий, обеспечивающих возможность виртуального погружения в наиболее опасные ситуации.

Заключение

Каждый сотрудник, осуществляющий деятельность в экстремальных условиях, обязан обеспечить спасение жизни человека и защиту имущества. В Российской Федерации объекты экономики, относящиеся к частной собственности, представляют значительную угрозу для жизни и здоровья участников тушения пожара (обрушение кровли цехов и межэтажных перекрытий, взрывы технологического оборудования и т.д.). Законодательная база Российской Федерации определяет жесткие требования к реализации сотрудниками МЧС России операциональных действий при ликвидации чрезвычайной ситуации. Вследствие этого старшее оперативное должностное лицо пожарной охраны, которое управляет на принципах единоначалия участниками боевых действий по тушению пожара, обязано иметь высокий уровень профессиональной подготовки, знать требования нормативных правовых актов МЧС России и основные положения Уголовного кодекса Российской Федерации, по которым в отношении его может наступить уголовная ответственность.

Внедрение предложенного способа приближения учебной деятельности курсантов к профессиональной деятельности на месте пожара в учебный процесс обеспечит накопление опыта деятельности в среде с наличием факторов риска, а также формирование профессионально значимых качеств, необходимых для самореализации выпускника по профессиональному назначению [15, с. 335].

ЛИТЕРАТУРА

1. Булгаков, В.В. Формирование психологической устойчивости пожарных к негативным условиям профессиональной деятельности / В.В. Булгаков // Психопедагогика в правоохранительных органах. – 2020. – Т. 25. – № 3 (82). – С. 246–253. DOI: 10.24411/1999-6241-2020-13001. – EDN: ROILEF.
2. Булгаков, В.В. Формирование профессиональных умений и навыков, физических и психологических качеств пожарных / В.В. Булгаков // Отечественная и зарубежная педагогика. – 2019. – Т. 1. – № 3 (60). – С. 105–120. – DOI: 10.24411/2224-0772-2019-10021. – EDN: YLHVSO.
3. Эльконин, Б.Д. Современность теории и практики учебной деятельности: ключевые вопросы и перспективы / Б.Д. Эльконин // Психологическая наука и образование. – 2020. – Т. 25. – № 4. – С. 28–39. – DOI: 10.17759/pse.2020250403. – EDN: KHQGXH.
4. Проненко, Е.А. Особенности смысловых процессов и явлений в командном взаимодействии / Е.А. Проненко, М.В. Буняева // Российский психологический журнал. – 2019. – Т. 16. – № 1. – С. 32–51. – DOI: 10.21702/rpj.2019.1.2. – EDN: JJKACJ.
5. Мардахаев, Л.В. Педагогика среды жизнедеятельности в социальном формировании человека [Электронный ресурс] / Л.В. Мардахаев // ЦИТИСЭ. – 2016. – № 4 (8). – Режим доступа: http://ma123.su/load/citiseh_4_8/13_00_00_pedagogicheskie_nauki/mardakhaev_1_v_pedagogika_sredy_zhiznedejatelnosti_v_socialnom_formirovanii_cheloveka/52-1-0-322. – Дата доступа: 16.02.2022. – EDN: WNIDNF.
6. Мардахаев, Л.В. Социокультурная среда военного вуза в формировании активной позиции защитника отечества / Л.В. Мардахаев, В.С. Макаренко // Ученые записки Российского государ-

- ственного социального университета. – 2015. – Т. 14, № 4 (131). – С. 126–132. DOI: 10.17922/2071-5323-2015-14-4-126-132. – EDN: VAXGNL.
7. Шойгу, Ю.С. Прогнозирование и управление социально-психологическими рисками во время чрезвычайной ситуации / Ю.С. Шойгу, Л.Г. Пыжьянова // Вестник Московского университета. Серия 14: Психология. – 2011. – № 4. – С. 76–83. – EDN: OQQWMJ.
 8. Гермацкая, Е.И. Оценка уровня развития отдельных профессионально значимых психологических качеств будущих специалистов экстремальных профессий / Е.И. Гермацкая // Вестник Университета гражданской защиты МЧС Беларуси. – 2020. – Т. 4, № 4. – С. 433–441. – DOI: 10.33408/2519-237X.2020.4-4.433. – EDN: WBWPTY.
 9. Битюцкая, Е.В. Изменение объема кратковременной памяти под влиянием стрессогенного воздействия у курсантов / Е.В. Битюцкая, Н.А. Лебедева, Ю.Р. Цаликова // Российский психологический журнал. – 2020. – Т. 17, № 1. – С. 27–43. DOI: 10.21702/грj.2020.1.3. – EDN: DFKWEO.
 10. Тихонов, М.М. Виртуальная среда как средство обучения в области защиты населения и территорий от чрезвычайных ситуаций / М.М. Тихонов [и др.] // Вестник Университета гражданской защиты МЧС Беларуси. – 2018. – Т. 2, № 1. – С. 101–110. – DOI: 10.33408/2519-237X.2018.2-1.101. – EDN: YSGWWU.
 11. Ермилов, А.В. Выделение профессионально значимых качеств бакалавра техносферной безопасности / А.В. Ермилов, Л.В. Мардахаев, О.И. Воленко // Российский психологический журнал. – 2020. – Т. 17. – № 2. – С. 73–81. DOI: 10.21702/грj.2020.2.5. – EDN: STOVIV.
 12. Повзик, Я.С. Пожарная тактика: учебник для пожарно-технических училищ / Я.С. Повзик, П.П. Клюсс, А.М. Матвейкин. – М.: Стройиздат, 1990. – 335 с.
 13. Матвейкин, А.М. Алгоритм обучения / А.М. Матвейкин // Пожарное дело. – 1989. – № 6. – С. 36–37.
 14. Евграфов, П.М. Психологическое моделирование и вероятностное оценивание сложных знаний в области пожарной безопасности / П.М. Евграфов, И.П. Евграфов // Пожаровзрывобезопасность. – 2006. – Т. 15, № 3. – С. 21–29. – EDN: НТВНУФ.
 15. Ермилов, А.В. Модель формирования профессионально значимых качеств бакалавров в вузах МЧС России / А.В. Ермилов // Вестник Удмуртского университета. Серия Философия. Психология. Педагогика. – 2018. – Т. 28. – № 3. – С. 335–341. – EDN: ХУККWD.

Адаптация условий учебной деятельности курсантов в соответствии с особенностями профессиональных функций по тушению пожаров
Adaptation of the conditions of cadets' educational activities in accordance with the peculiarities of professional functions of extinguishing fires

Ермилов Алексей Васильевич

кандидат педагогических наук, доцент
Ивановская пожарно-спасательная академия
ГПС МЧС России, учебно-научный комплекс
«Пожаротушение», кафедра пожарной тактики
и основ аварийно-спасательных и других
неотложных работ, доцент

Адрес: пр-т Строителей, 33,
153040, г. Иваново, Россия
Email: skash_666@mail.ru
ORCID: 0000-0002-0157-7712

Alexey V. Ermilov

PhD in Pedagogical Sciences, Associate Professor
Ivanovo Fire Rescue Academy of SFS
of EMERCOM of Russia, Educational
and Scientific Complex «Firefighting»,
Chair of Fire Tactics and Fundamentals
of Emergency Rescue and Other Urgent Work,
Associate Professor

Address: Stroiteley ave., 33,
153040, Ivanovo, Russia
Email: skash_666@mail.ru
ORCID: 0000-0002-0157-7712

Никишов Сергей Николаевич

кандидат технических наук
Ивановская пожарно-спасательная академия
ГПС МЧС России, учебно-научный комплекс
«Пожаротушение», кафедра пожарной тактики
и основ аварийно-спасательных и других
неотложных работ, начальник кафедры

Адрес: пр-т Строителей, 33,
153040, г. Иваново, Россия
Email: mordov5988@mail.ru
ORCID: 0000-0002-1845-5009

Sergey N. Nikishov

PhD in Technical Sciences
Ivanovo Fire Rescue Academy of SFS
of EMERCOM of Russia, Educational
and Scientific Complex «Firefighting»,
Chair of Fire Tactics and Fundamentals
of Emergency Rescue and Other Urgent Work,
Head of Chair

Address: Stroiteley ave., 33,
153040, Ivanovo, Russia
Email: mordov5988@mail.ru
ORCID: 0000-0002-1845-5009

Баканов Максим Олегович

кандидат технических наук, доцент
Ивановская пожарно-спасательная академия
ГПС МЧС России, учебно-научный комплекс
«Пожаротушение», начальник
учебно-научного комплекса

Адрес: пр-т Строителей, 33,
153040, г. Иваново, Россия
Email: mask-13@mail.ru
ORCID: 0000-0002-5427-8767

Maxim O. Bakanov

PhD in Technical Sciences, Associate Professor
Ivanovo Fire Rescue Academy of SFS
of EMERCOM of Russia, Educational
and Scientific Complex «Firefighting»,
Head of Educational and Scientific Complex

Address: Stroiteley ave., 33,
153040, Ivanovo, Russia
Email: mask-13@mail.ru
ORCID: 0000-0002-5427-8767

ADAPTATION OF THE CONDITIONS OF CADETS' EDUCATIONAL ACTIVITIES IN ACCORDANCE WITH THE PECULIARITIES OF PROFESSIONAL FUNCTIONS FOR EXTINGUISHING FIRES

Ermilov A.V., Nikishov S.N., Bakanov M.O.

Purpose. The educational process of the educational organization of higher education of the Ministry of Emergency Situations of Russia is obliged to bring the educational activities of cadets as close as possible to professional duties at the fire site, taking into account the preservation of the life and health of the student, as well as the requirements of the regulatory framework of the Russian Federation. This aspect determines the need to highlight the components that will underlie the educational activities of cadets at the practice base facilities, as well as the development of scenarios for the visualization of professional activities in the environment of special software.

Methods. As research methods, an analysis of special literature, professional activities of an employee of the Ministry of Emergency Situations of Russia at the call site, as well as components of the professional environment were used.

Findings. The requirements for the organization of educational activities of cadets for professional purposes are identified: professional training, determined by the operational actions of an employee of the Ministry of Emergency Situations of Russia in accordance with the content of the stages of combat operations to extinguish a fire; organization of the educational process in an environment as close as possible to the real one; implementation of educational activities in strict accordance with the requirements of regulatory legal acts of the EMERCOM of Russia. Based on the requirements, a model of a situational task has been developed. The sequence of problem solving by cadets is divided into twelve stages. Each stage reflects the operational actions of cadets to extinguish a fire, taking into account the requirements of the regulatory legal acts of the EMERCOM of Russia.

Application field of research. The situational task model can underlie the modeling of professional activity in educational places, representing the model of the object of the economy in real size, as well as the scenario of special computer software. The stages of solving the problem make it possible to assess the level of professional readiness of cadets in order to timely correct the educational process.

Keywords: cadet, educational activity, professional activity, professional environment, professional training, situational task, destructive events, personality development.

(The date of submitting: July 13, 2022)

REFERENCES

1. Bulgakov V.V. Formirovanie psikhologicheskoy ustoychivosti pozharnykh k negativnym usloviyam professional'noy deyatelnosti [Formation of firefighters' psychological stability to negative professional conditions]. *Psychopedagogy in Law Enforcement*, 2020. Vol. 25. No. 3(82). Pp. 246–253. (rus). DOI: 10.24411/1999-6241-2020-13001. EDN: ROILEF.
2. Bulgakov V.V. Formirovanie professional'nykh umeniy i navykov, fizicheskikh i psikhologicheskikh kachestv pozharnykh [Formation of professional skills, physical and psychological qualities of firefighters]. *Otechestvennaya i zarubezhnaya pedagogika*, 2019. Vol. 1, No. 3 (60). Pp. 105–120. (rus). DOI: 10.24411/2224-0772-2019-10021. EDN: YLHVSO.
3. El'konin B.D. Sovremennost' teorii i praktiki uchebnoy deyatelnosti: klyuchevye voprosy i perspektivy [Modern Era of the Theory and Practice of Learning Activity: Key Issues and Perspectives]. *Psychological Science and Education*, 2020. Vol. 25. No. 4. Pp. 28–39. (rus). DOI: 10.17759/pse.2020250403. EDN: KHQGXM.
4. Pronenko E.A., Bunyaeva M.V. Osobennosti smyslovykh protsessov i yavleniy v komandnom vzaimodeystvii [Characteristics of meaning processes and phenomena in team interaction]. *Russian Psychological Journal*, 2019. Vol. 16, No. 1. Pp. 32–51. (rus). DOI: 10.21702/rpj.2019.1.2. EDN: JJKACJ.
5. Mardakhaev L.V. Pedagogika sredi zhiznedeyatel'nosti v social'nom formirovanii cheloveka [Pedagogy living environment in the social formation of man]. *CITISE*, 2016. No. 4 (8). Available at: http://ma123.su/load/citiseh_4_8/13_00_00_pedagogicheskie_nauki/mardakhaev_1_v_pedagogika_sredi_zhiznedeyatel'nosti_v_socialnom_formirovanii_cheloveka/52-1-0-322 (accessed: February 16, 2022). (rus). EDN: WNIDNF.

6. Mardakhaev L.V., Makarenko V.S. Sotsiokul'turnaya sreda voennogo vuza v formirovaniy aktivnoy pozitsii zashchitnika otechestva [The Sociocultural Circle of the Military of Higher Education Institution in Formation of the Active Position of the Defender of the Fatherland]. *Uchenye zapiski Rossiyskogo gosudarstvennogo sotsial'nogo universiteta*, 2015. Vol. 14, No. 4 (131). Pp. 126–132. (rus). DOI: 10.17922/2071-5323-2015-14-4-126-132. EDN: VAXGNL.
7. Shoygu Yu.S., Pyzh'yanova L.G. Prognozirovaniye i upravleniye sotsial'no-psikhologicheskimi riskami vo vremya chrezvychaynoy situatsii [Forecasting and managing social and psychological risks during an emergency] *Moscow University Psychology Bulletin*, 2011. No 4. Pp. 76-83. (rus). EDN: OQQWMJ.
8. Germatskaya E.I. Otsenka urovnya razvitiya otdel'nykh professional'no znachimykh psikhologicheskikh kachestv budushchikh spetsialistov ekstremal'nykh professiy [Evaluation of the development level of several professionally significant psychological qualities of future specialists in extreme professions] *Journal of Civil Protection*, 2020. Vol. 4, No. 4. Pp. 433–441. (rus). DOI: 10.33408/2519-237X.2020.4-4.433. EDN: WBWPTY.
9. Bityutskaya E.V., Lebedeva N.A., Tsalikova Yu.R. Izmeneniye ob'ema kratkovremennoy pamyati pod vliyaniem stressogennogo vozdeystviya u kursantov [Changes in the volume of cadets' short-term memory under the influence of stress] *Russian Psychological Journal*, 2020. Vol. 17, No. 1. Pp. 27–43. (rus). DOI: 10.21702/rpj.2020.1.3. EDN: DFKWEO.
10. Tikhonov M.M. Bordak S.S., Lyubivaya E.N., Ryabtsev V.N. Virtual'naya sreda kak sredstvo obucheniya v oblasti zashchity naseleniya i territoriy ot chrezvychaynykh situatsiy [Virtual environment as an instrument of training in the field population protection from emergencies]. *Journal of Civil Protection*, 2018. Vol. 2, No. 1. Pp. 101–110. (rus). DOI: 10.33408/2519-237X.2018.2-1.101. EDN: YSGWWU.
11. Ermilov A.V., Mardakhaev L.V., Volenko O.I. Vydeleniye professional'no znachimykh kachestv bakalavra tekhnosfernoj bezopasnosti [Professionally Important Qualities of Bachelors in Technosphere Safety]. *Russian Psychological Journal*, 2020. Vol. 17, No. 2. Pp. 73–81. (rus). DOI: 10.21702/rpj.2020.2.5. EDN: STOVIV.
12. Povzik Ya.S., Klyuss P.P., Matveykin A.M. *Pozharnaya taktika [Fire tactics]:* textbook for fire-technical schools. Moscow: Stroyizdat, 1990. 335 p. (rus)
13. Matveykin A.M. Algoritm obucheniya [Learning algorithm]. *Pozharnoe delo*, 1989. No. 6. Pp. 36–37.
14. Evgrafov P.M., Evgrafov I.P. Psikhologicheskoe modelirovaniye i veroyatnostnoye otsenivaniye slozhnykh znaniy v oblasti pozharnoy bezopasnosti [Psychological modeling and probabilistic evaluation of complex knowledge in the field of fire safety]. *Fire and Explosion Safety*, 2006. – Vol. 15, No. 3. – Pp. 21–29. (rus). EDN: HTVHUF.
15. Ermilov A.V. Model' formirovaniya professional'no znachimykh kachestv bakalavrov v vuzakh MChS Rossii [Model of Formation of Professionally Significant Qualities of Bachelors in Universities of EMERCOM of Russia]. *Bulletin of Udmurt University. Series Philosophy. Psychology. Pedagogy*, 2018. Vol. 28, No. 3. Pp. 335–341. EDN: XYKKWD.

ОСОБЕННОСТИ МЕТОДОЛОГИИ РАССЛЕДОВАНИЯ ПОДЖОГОВ ЛЕГКОВЫХ АВТОМОБИЛЕЙ

Пасовец В.Н., Ковтун В.А., Горошко Е.Ю., Тагиев Ш.Ш.

Цель. Совершенствование методики расследования пожаров на автотранспортных средствах.

Методы. Теоретический анализ, обобщение, систематизация.

Результаты. Статья посвящена расследованию дел о пожарах на легковых автомобилях. С учетом современных тенденций развития криминалистической тактики описаны этапы осмотра транспортных средств при поджогах, особенности работы с вещественными доказательствами, средства, приемы и методы обнаружения и изъятия следов.

Область применения исследований. Представленные результаты могут быть использованы в правоприменительной деятельности при расследовании пожаров на автотранспортных средствах.

Ключевые слова: пожар, расследование пожара, методика, легковой автомобиль.

(Поступила в редакцию 1 июля 2022 г.)

Введение

Поджоги автотранспортных средств считаются одними из наиболее трудно раскрываемых видов преступлений. Латентность автомобильных поджогов обуславливается тем, что злоумышленники при совершении данного вида преступлений выбирают темное время суток, когда количество свидетелей минимально. В правоприменительной практике известны инсценировки самовозгораний различных транспортных средств. При этом производился умышленный поджог автомобиля с инсценировкой пожара, возникшего по различным причинам [1]. Также на практике встречаются инсценировки дорожно-транспортных происшествий, когда преступник своей основной целью ставит получение незаконного возмещения ущерба. При этом наличие преступной инсценировки еще более, чем при других способах сокрытия преступления, затрудняет процесс расследования [2; 3].

Методика расследования пожаров на автомобилях представляет собой комплекс сложных процедур, применяемых в зависимости от типа автомобиля, вида используемого топлива и материалов, используемых при изготовлении автомобиля [4]. Так, полимерные материалы, применяемые при производстве устаревших автомобилей, обладают явно более высокой способностью к возгоранию. В настоящее время в автомобилестроении увеличилось использование полимеров, содержащих в составе антипирены, поэтому скорость распространения огня в современных автомобилях значительно ниже [5].

Во многих работах, посвященных поджогам, отмечается, что большинство поджогов автомобилей было инициировано горючими или легковоспламеняющимися жидкостями. При этом бензин наиболее часто применяется в качестве инициатора горения [6]. При поджогах используются и другие имеющиеся в продаже легковоспламеняющиеся жидкости. Кроме бензина могут быть использованы ацетон, метанол, толуол и их смеси, керосин, а также «коктейли Молотова» [7].

В легковых автомобилях содержится большое количество горючих материалов и источников зажигания, поэтому из-за значительных повреждений иногда бывает затруднительно отличить источники зажигания и первично воспламеняющиеся материалы, являющиеся причиной пожара, от источников тепла, не явившихся причиной пожара, и вторично воспламенившихся материалов, являющихся последствием возгорания. Современные легковые автомобили содержат большое количество электрических компонентов в приборной панели, дверях, сиденьях, потолке и полу салона. Моторный отсек и салон разделены

вертикальной стальной панелью. Однако данная панель является перфорированной, содержит большое количество отверстий для прокладки проводников электричества и других конструктивных компонентов, благодаря чему возможность распространения огня в салон автомобиля из моторного отсека значительно возрастает. При полностью развившемся пожаре на автомобиле вызывает затруднение определение пути распространения огня [8].

В процессе расследования пожара сначала определяется место очага пожара, а затем его причина. Часто очаг пожара определяется достаточно точно, но причина остается неустановленной. На установление точных причин пожаров на автомобиле влияет множество факторов, в том числе высокая температура, достигающая 1000 °С, уничтожающая и искажающая все следы, а также вещественные доказательства [9]. Разумеется, вещественные доказательства обычно уничтожаются не только под действием высоких температур, но и при аварийно-спасательных работах, а также при тушении пожара.

Для локализации очага пожара и определения причины пожара часто исследуют следы распространения огня на кузове легкового автомобиля, а также в его салоне. При этом применяются те же процедуры, что и при расследовании пожаров на строительных конструкциях. По возможности автомобиль должен быть осмотрен на месте происшествия [10]. Также чем раньше дознаватель прибудет на место пожара, тем лучше он обеспечит изъятие важных вещественных доказательств, которые могут быть уничтожены при тушении пожара.

Осмотр автомобилей после пожара – сложная и многогранная деятельность. Изначально необходимо определить место очага пожара. Большинство транспортных средств имеют три основных пространства: моторный отсек, пассажирский салон, а также грузовое пространство или багажник. Исследование ветрового стекла может помочь в выявлении места возникновения горения. Так, пожар в салоне обычно вызывает повреждение верхней части ветрового стекла и оставляет радиальные следы горения на потолке салона автомобиля [11].

Цель работы состояла в совершенствовании методики расследования пожаров на легковых автомобилях, применяемой на практике.

Основная часть

Методологическая схема расследования пожаров на автотранспортных средствах представлена на рисунке.

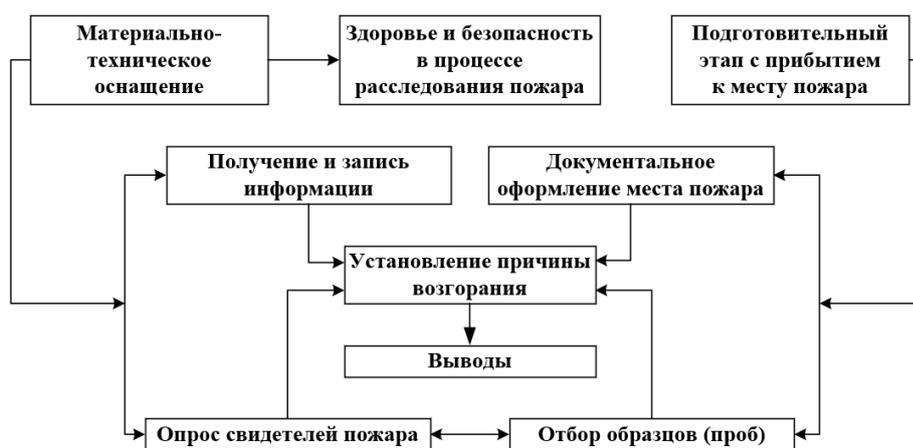


Рисунок. – Методологическая схема расследования пожаров на автотранспортных средствах

В связи с тем что процесс возгорания легкового автомобиля является достаточно сложным исследованием, целесообразно его структурные части представить следующим образом: материально-техническое оснащение, подготовительный этап с прибытием к месту пожара, здоровье и безопасность в процессе расследования пожара, получение и запись

информации, документирование места пожара, допрос свидетелей пожара, отбор образцов (проб), определение причины пожара, выводы.

Материально-техническое оснащение. Расследование дел о пожарах на автомобилях, помимо знаний в данной области, требует применения специальных инструментов, с помощью которых выполняются различные операции. Данные средства относятся к материально-техническому оснащению дознавателя. При этом для правильного установления причины пожара необходимо наличие следующих материально-технических средств: профессиональная видеокамера со штативом, фотокамера, ноутбук с подключением к интернету, диктофон, инструменты для работы и отбора проб, средства индивидуальной защиты.

Сегодня в Республике Беларусь положительно зарекомендовали себя при осмотре автотранспорта на предмет поджога специализированные чемоданы «Эксперт-пожаротехник 1» и «Эксперт-пожаротехник 2». Данные чемоданы служат для транспортировки и хранения технических средств, используемых для поиска, извлечения, фиксации следов и вещественных доказательств на месте пожара. Комплектация чемодана позволяет качественно провести осмотр места пожара с выяснением всех обстоятельств произошедшего события.

Подготовительный этап с прибытием к месту пожара. Подготовка дознавателя должна основываться на выполнении мероприятий по поддержанию в технически исправном состоянии оперативно-функциональных и материально-технических средств, которыми он пользуется в процессе расследования.

После сообщения о возгорании автомобиля особую важность представляет быстрый выезд пожарной команды. В законодательстве установлено время выезда пожарного расчета из пожарного депо – не более одной минуты. Тем не менее возгорание автомобиля имеет быстрое развитие. Огонь в легковом автомобиле распространяется очень быстро. Обычно в течение первых 15 минут происходит значительное повреждение или полное уничтожение автомобиля и сведений, указывающих на причину возникновения пожара. На быстрое тушение пожара и сохранение материальной ценности легкового автомобиля влияют два фактора. Первый – это сообщение о пожаре на начальном этапе возгорания, а второй – быстрое тушение прибывшей пожарной командой. Во избежание утраты каких-либо существенных доказательств дознаватель должен как можно скорее прибыть на место пожара, оптимально – вместе с пожарной командой.

После прибытия на место пожара дознавателю целесообразно наблюдать за ходом развития и тушения пожара, а также за поведением свидетелей пожара. После тушения дознаватель, используя различные методы, осуществляет поиск источников возникновения пожара и вещественных доказательств, указывающих на признаки поджога.

Здоровье и безопасность в процессе расследования пожара. При осмотре транспортного средства после ликвидации пожара дознаватель должен уделять особое внимание своему здоровью и безопасности. Процедура осмотра автомобиля включает различные угрозы безопасности. Важным фактором защиты жизни и здоровья дознавателя являются средства индивидуальной защиты и соблюдение техники безопасности. Поскольку дознаватель может прибыть на место пожара одновременно с пожарным расчетом, он должен быть экипирован средствами индивидуальной защиты так же, как и пожарный, осуществляющий тушение пожара.

Что касается техники безопасности при осмотре автомобиля, важно следовать основным принципам охраны труда на рабочем месте. Прежде чем начать осмотр автомобиля снизу, следует убедиться, что он надлежащим образом зафиксирован и не имеет возможности перемещаться. Необходимо сочетать использование гидравлических подъемников, домкратов или других устройств, используемых для удержания веса автомобиля, с фиксирующими средствами соответствующего оборудования для предотвращения резкого движения автомобиля или его падения.

Потенциальную опасность представляют собой неактивированные подушки безопасности. Натриевая кислота, которая является топливом для газогенераторов подушек безопасности автомобилей, также опасна, контакт с ней может представлять потенциальную опасность для здоровья.

Лицо, проводящее осмотр автомобиля, должно уметь идентифицировать имеющиеся автомобильные системы, определять рабочее состояние этих систем и при необходимости знать, как эти системы можно отключить до осмотра автомобиля, чтобы предотвратить их случайное срабатывание. Процедура осмотра сгоревшего автомобиля может приводить ко многим нештатным ситуациям, представляющим опасность. Например, утечка топлива или остатки топлива в баке представляют опасность возгорания, утечка смазки может привести к падению за счет скольжения, риск поражения электрическим током, например от аккумулятора, высоковольтных систем в гибридных автомобилях, разбитое стекло может стать причиной травмирования и т.д.

Получение и запись информации. Для расследования пожара и установления причины возгорания автомобиля необходимо, чтобы дознаватель собирал и фиксировал информацию, которую, в свою очередь, можно разделить на три группы: основная информация, информация о машине и информация о пожаре.

К основной информации относится адрес (местоположение) места возникновения пожара, например шоссе, дорога, проселочная дорога, лесная дорога, гараж, мастерская, сад, парковка и т.д.; дата и время возникновения пожара, время сообщения о пожаре, его длительность; форма собственности уничтоженного или поврежденного имущества; данные о владельце имущества (имя и фамилия, дата рождения, место жительства); данные об ущербе; сведения о полученных травмах; сведения о погибших; сведения о поврежденных огнем других автомобилях; сведения о пассажирах, находившихся в салоне; сведения об оборудовании автомобиля переносными огнетушителями и использовались ли они для тушения возгорания; сведения о страховке автомобиля; в случае ДТП данные о других участниках ДТП.

Информация об автомобиле включает марку, модель, тип, год выпуска, идентификационный номер, регистрационный знак, срок действия разрешения на допуск транспортного средства к участию в дорожном движении, тип кузова (хэтчбек, комби, пикап, кабриолет, купе и т.д.), количество дверей, цвет кузова, тип топлива (бензин, дизель, сжиженный газ (пропан-бутан), сжатый природный газ (метан), электрическая энергия, др.), тип топливной системы (карбюратор, впрыск, турбонагнетатель, компрессор, др), явные повреждения автомобиля, не обусловленные пожаром (разбитое стекло, поврежденные части и т.д.), сведения о положении переключателя коробки передач в момент пожара (включен, выключен), тип топливного бака (металлический, полимерный и т.д.), тип топливопровода (металл, полимер, резина и т.д.), перевозимые материалы, дополнительное навесное оборудование.

Получить информацию о конкретном автомобиле можно путем использования базы данных автомобилей с подробным техническим описанием, подготовленным непосредственно производителями. Данные базы данных включают подробное описание автомобиля и его оснащения (подогрев сидений, электрорегулировка сидений, электропривод стекол, фары, электрорегулировка боковых зеркал, тип коробки передач и т.д.). Так как часто во время пожара невозможно идентифицировать отдельные детали автомобиля, база данных поможет их идентифицировать и выявить оборудование, которое могло явиться источником пожара (генератор, аккумуляторы, стартер, сейф, прикуриватель и т.д.).

Информация о пожаре включает данные о пространстве, в котором произошло возгорание (двигатель, приборная панель, салон, грузовой отсек, тормоза, колеса и т.д.); узлах или агрегатах, которые могли являться источниками пожара (стартер, генератор, карбюратор, топливораспределитель, топливный насос, отопление, кондиционер, электроустановка автомобиля, замок зажигания, приборы, аппараты и т.д.); виде чрезвычайной ситуации или

виде деятельности, при которой произошел пожар (авария, столкновение, техническое обслуживание, ремонт, умысел, во время движения, в начале движения, на стоянке в гараже, на стоянке); источнике зажигания (электрическое короткое замыкание, высокое контактное сопротивление, перегруженная проводка, тепло от частей автомобиля, температура инструментов, прикуривателя, сигареты, другой автомобиль и т.д.); материале, обусловившем развитие пожара (топливо, обивка, багаж).

Документальное оформление места пожара. Частью осмотра транспортного средства является его документирование. Надлежащее документирование, фото- и видеосъемка – это ключевые элементы в процессе расследования.

Дознаватель на плане-схеме осмотра места пожара должен отметить ориентиры и их расстояние до автомобиля. План-схема должна быть четкой, чтобы можно было точно отметить местонахождение автомобиля до времени его буксировки. Необходимо сфотографировать место пожара, чтобы были видны окружающие строения, дорожное оборудование и разметка, следы машин и шин, следы обуви и т.д. Необходимо задокументировать ущерб, причиненный пожаром находящемуся рядом имуществу. Также нужно документально зафиксировать пролитое масло или топливо и другие предметы или жидкости, которые очевидны при визуальном осмотре места пожара и могут служить для дальнейшего анализа распространения огня. Автомобиль должен быть сфотографирован последовательно с соблюдением правил криминалистической фотосъемки осмотра места пожара. Фотографии должны быть сделаны со всех сторон, включая верх и низ. Важно зафиксировать повреждения салона и экстерьера автомобиля, все признаки направления распространения огня как снаружи автомобиля, так и изнутри. Также необходимо сфотографировать место хранения багажа.

Место пожара должно быть задокументировано и после эвакуации автомобиля с учетом обгоревших участков на земле или на дороге, а также положения осколков стекол и другого мусора. Фотографии должны быть дополнены рисунками и примечаниями.

Опрос свидетелей пожара. Ключевым элементом в процессе расследования причин возгорания автомобилей является опрос свидетелей. Опрос свидетелей должен вести дознаватель с привлечением сотрудников милиции. Надлежащие показания свидетелей помогут подтвердить или опровергнуть возможные (подтвержденные) причины пожара. Важный вопрос при опросе, где или в какой части автомобиля свидетель наблюдал пожар. По показаниям свидетелей и наблюдаемым следам дознаватель, применяя метод исключения, может установить причину пожара. Опросы лиц, которые были свидетелями ранних стадий развития пожара, могут помочь дознавателю сузить пространство очага пожара, которое в последующем необходимо подвергнуть более детальному осмотру.

Отбор образцов (проб). В случае отсутствия возможности непосредственного установления причины пожара, необходимо применить метод выборочного отбора образцов. При этом если имеются подозрения на применение легковоспламеняющихся жидкостей, то порядок действий следующий. К месту пожара направляют собаку, специально обученную поиску инициаторов горения. В случае применения инициатора горения собака с большой вероятностью указывает на место его применения.

Далее на идентифицированном месте производится отбор образцов (проб) для лабораторных испытаний. Перед отбором образцов (проб) его необходимо сфотографировать. Легковоспламеняющиеся жидкости необходимо собирать в герметичные контейнеры, что объясняется их испаряемостью. Также целесообразно производить упаковку стеклянных бутылок в герметичные пакеты. Высокие температуры во время пожара вызывают испарение и выгорание горючих жидкостей, что затрудняет отбор проб из них в жидком виде. Поэтому необходимо обратить внимание на пористые материалы (дерево, ткань, грунт и т.д.), в которых с большой вероятностью сохраняется впитанная горючая жидкость. Материалы собираются и герметично запечатываются в полиамидные пакеты, предназначенные для образцов.

При отборе и упаковке образцов (проб) для лабораторного исследования важно убедиться, что они не будут подвержены вторичным повреждениям во время транспортировки. Отобранные образцы (пробы) должны сохранить свое первоначальное состояние. Также важно взять с места пожара сравнительные образцы (пробы), не загрязненные инициатором горения, что позволит провести экспертное идентификационное исследование.

Установление причины возгорания. Установление причины пожара является основной задачей расследования дел о пожарах на автомобилях. Полностью сгоревшая часть автомобиля или наиболее поврежденная огнем соответственно считается очагом пожара.

Установление причины пожара осуществляется на основании сведений, полученных при осмотре места пожара, документов, протоколов опроса свидетелей пожара. Для правильного определения причины возгорания необходимо с самого начала работать с множественными возможными версиями о причине возгорания автомобиля, также учитывать информацию о присутствии людей и действиях, предпринятых непосредственно перед возгоранием и во время тушения пожара.

Выводы. В результате осмотра транспортного средства и на основании обнаруженных вещественных доказательств, а также имеющейся оперативной информации дознаватель формируют основную версию относительно причины возгорания легкового автомобиля. В случае если имеет место состав преступления, материалы передаются в Следственный Комитет Республики Беларусь для дальнейшего расследования.

Заключение

Расследование пожаров на автомобильном транспорте является достаточно сложной задачей, что объясняется небольшим пространством пожара, наличием большого числа источников воспламенения и количества материалов с разными теплофизическими характеристиками, влияющими на процесс горения автомобиля. Описанная методика осмотра места пожара на предмет поджога легкового автомобиля позволит установить причину пожара, способы, методы и средства, используемые при совершении преступления, обеспечит установление всех причастных к пожару лиц. При этом важное значение в расследовании пожаров на транспортных средствах имеет образование дознавателя в области автомобильной техники.

ЛИТЕРАТУРА

1. Храмов, С.М. Латентная преступность: методология познания и основные направления противодействия / С.М. Храмов. – Брест: БрГУ, 2010. – 153 с.
2. Criminal profiling: international theory, research, and practice / ed.: R.N. Kocsis. – Totowa, New Jersey: Humana Press Inc, 2007. – 217 p.
3. Образцов, В.А. Выявление и изобличение преступника / В.А. Образцов. – М.: Юристъ, 1997. – 134 с.
4. Zhang, D.L. Study on vehicle fire safety: Statistic, investigation methods and experimental analysis / D.L. Zhang [et al.] // Safety Science. – 2019. – Vol. 117. – P. 194–204. – DOI: 10.1016/j.ssci.2019.03.030.
5. Yoshioka, H. Experimental study on car fire with respect to urban fire spreading / H. Yoshioka, T. Iwami, Sh. Takeya // Fire Science and Technology. – 2018. – Vol. 37, No. 1. – P. 17–30. – DOI: 10.3210/fst.37.17.
6. Davis, J.R. Detection of gasoline as an accelerant spreading / J.R. Davis // Fire science and technology. – 1980. – Vol. 3, No. 4. – P. 55–61.
7. Benmeir, P. Terrorist bombing with a 'Molotov cocktail' inside travelling cars: an old weapon for a new burn syndrome? / P. Benmeir [et al.] // Burns: journal of the International Society for Burn Injuries. – 1994. – Vol. 20, No. 3. – P. 248–250. – DOI: 10.1016/0305-4179(94)90192-9.
8. Li, D. Flame spread and smoke temperature of full-scale fire test of car fire / D. Li [et al.] // Case studies in thermal engineering. – 2017. – Vol. 10. – P. 315–324. DOI: 10.1016/j.csite.2017.08.001.
9. Cheng, Y.P. Experimental research of motorcar fire / Y.P. Cheng, R. John // Journal of China University of Mining and Technology. – 2002. – Vol. 31, No. 6. – P. 557 – 560.

10. Okamoto, K. Burning behavior of sedan passenger cars/ K. Okamoto [et al.] // Fire safety journal – 2009. – Vol. 44, Iss. 2. – P. 301–310. – DOI: 10.1016/j.firesaf.2008.07.001.
11. Okamoto, K. Burning behavior of minivan passenger cars / K. Okamoto [et al.] // Fire safety journal – 2013. – Vol. 62, Part C. – P. 272–280. – DOI: 10.1016/j.firesaf.2013.09.010.

Особенности методологии расследования поджогов легковых автомобилей
Particularities of methodology of investigation of passenger cars arsons

Пасовец Владимир Николаевич

кандидат технических наук, доцент
 Государственное учреждение образования
 «Университет гражданской защиты
 Министерства по чрезвычайным ситуациям
 Республики Беларусь», факультет подготовки
 научных кадров, начальник факультета
 Адрес: ул. Машиностроителей, 25,
 220118, г. Минск, Беларусь
 Email: pasovets_v@mail.ru
 ORCID: 0000-0001-9451-9513

Vladimir N. Pasovets

PhD in Technical Sciences, Associate Professor
 State Educational Establishment «University
 of Civil Protection of the Ministry
 for Emergency Situations of the Republic
 of Belarus», Faculty of Postgraduate
 Scientific Education, Head of Faculty
 Address: Mashinostroiteley str., 25,
 220118, Minsk, Belarus
 Email: pasovets_v@mail.ru
 ORCID: 0000-0001-9451-9513

Ковтун Вадим Анатольевич

доктор технических наук, профессор
 Филиал «Институт профессионального
 образования» государственного учреждения
 образования «Университет гражданской
 защиты Министерства по чрезвычайным
 ситуациям Республики Беларусь», кафедра
 оперативно-тактической деятельности
 и техники, профессор
 Адрес: пр-т Речицкий, 35А,
 246023, г. Гомель, Беларусь
 Email: vadimkov@yandex.ru
 ORCID: 0000-0001-9510-132X

Vadim A. Kovtun

Grand PhD in Technical Sciences, Professor
 Branch «Institute of Vocational Education»
 of the State Educational Establishment «University
 of Civil Protection of the Ministry of Emergency
 Situations of the Republic of Belarus»,
 Chair of Operational-Tactical Activity
 and Technical Equipment, Professor
 Address: ave. Rechitskiy, 35A,
 246023, Gomel, Belarus
 Email: vadimkov@yandex.ru
 ORCID: 0000-0001-9510-132X

Горошко Елена Юрьевна

кандидат юридических наук, доцент
 Государственное учреждение образования
 «Университет гражданской защиты
 Министерства по чрезвычайным ситуациям
 Республики Беларусь», кафедра надзорной
 и профилактической деятельности, доцент
 Адрес: ул. Машиностроителей, 25,
 220118, г. Минск, Беларусь
 Email: osnipo@ucp.by
 ORCID: 0000-0003-0705-9155

Elena Yu. Goroshko

PhD in Juridical Sciences, Associate Professor
 State Educational Establishment «University
 of Civil Protection of the Ministry
 for Emergency Situations of the Republic
 of Belarus», Chair of Supervisory
 and Preventive Activities, Associate Professor
 Address: Mashinostroiteley str., 25,
 220118, Minsk, Belarus
 Email: osnipo@ucp.by
 ORCID: 0000-0003-0705-9155

Тагиев Шамхал Шахин оглы

Государственное учреждение образования
 «Университет гражданской защиты
 Министерства по чрезвычайным ситуациям
 Республики Беларусь», факультет подготовки
 руководящих кадров, магистрант
 Адрес: ул. Машиностроителей, 25,
 220118, г. Минск, Беларусь
 Email: keksss2007@mail.ru

Shamkhal Sh. Tagiev

State Educational Establishment «University
 of Civil Protection of the Ministry
 for Emergency Situations of the Republic
 of Belarus», Administration Training Faculty,
 graduate student
 Address: Mashinostroiteley str., 25,
 220118, Minsk, Belarus
 Email: keksss2007@mail.ru

PARTICULARITIES OF METHODOLOGY OF INVESTIGATION OF PASSENGER CARS ARSONS

Pasovets V.N., Kovtun V.A., Goroshko E.U., Tagiev Sh.Sh.

Purpose. Improvement the methodology for investigating fires on motor vehicles.

Methods. Theoretical analysis, synthesis, systematization.

Findings. The article is devoted to the investigation of cases of fires in cars. The stages of inspection of vehicles during arson are described taking into account modern trends in the development of forensic tactics, particularities of working with physical evidence, means, techniques and methods for detecting and removing traces.

Application field of research. The presented results can be used in law enforcement activities in the investigation of fires on vehicles.

Keywords: fire, fire investigation, methodology, passenger car.

(The date of submitting: July 1, 2022)

REFERENCES

1. Khramov S.M. *Latentnaya prestupnost': metodologiya poznaniya i osnovnye napravleniya protivodeystviya [Latent criminality: methodology of knowledge and main directions of counteraction]*. Brest, Brest State university, 2010, 153 p. (rus)
2. *Criminal profiling: international theory, research, and practice*. Ed. by R.N. Kocsis. Totowa, New Jersey, Humana Press Inc, 2007. 217 p.
3. Obratsov V.A. *Vyyavlenie i izoblichenie prestupnika [Identification and exposure of the criminal]*. Moscow. Yurist, 1997, 134 p. (rus)
4. Zhang D., Xiao L., Wang Y., Huang G. Study on vehicle fire safety: Statistic, investigation methods and experimental analysis. *Safety Science*, 2019. Vol. 117, Pp. 194–204. DOI: 10.1016/j.ssci.2019.03.030.
5. Yoshioka H., Iwami T., Takeya Sh. Experimental study on car fire with respect to urban fire spreading. *Fire Science and Technology*, 2018. Vol. 37, No. 1. Pp. 17–30. DOI: 10.3210/fst.37.17.
6. Davis J.R. Detection of Gasoline as an Accelerant Spreading. *Fire Science and Technology*, 1980. Vol. 3, No. 4. Pp. 55–61.
7. Benmeir P., Lusthaus S., Wexler M. [et al.] Terrorist bombing with a 'Molotov cocktail' inside traveling cars: an old weapon for a new burn syndrome? *Burns: Journal of the International Society for Burn Injuries*, 1994. Vol. 20, No. 3. Pp. 248–250. DOI: 10.1016/0305-4179(94)90192-9.
8. Li D., Zhu G., Zhu H., Yu Z., Gao Y., Jiang X. Flame spread and smoke temperature of full-scale fire test of car fire. *Case Studies in Thermal Engineering*, 2017. Vol. 10. Pp. 315–324. DOI: 10.1016/j.csite.2017.08.001.
9. Cheng Y.P., John R. Experimental research of motorcar fire. *Journal of China University of Mining and Technology*, 2002. Vol. 31, No. 6. Pp. 557–560.
10. Okamoto K., Watanabe N., Hagimoto Y., Chigira T. [et al.] Burning behavior of sedan passenger cars. *Fire Safety Journal*, 2009. Vol. 44, Iss. 3. Pp. 301–310. DOI: 10.1016/j.firesaf.2008.07.001.
11. Okamoto K., Otake T., Miyamoto H., Honma M., Watanabe N. Burning behavior of minivan passenger cars. *Fire Safety Journal*, 2013. Vol. 62, Part C. Pp. 272–280. DOI: 10.1016/j.firesaf.2013.09.010.

EDN: <https://elibrary.ru/YTFQYA>

**К 90-летию инженера-полковника в отставке,
доктора психологических наук,
профессора Маркса Ароновича КРЕМНЯ**

Полевода И.И., Герасимчик А.П., Богданович А.Б., Каркин Ю.В., Шамаль Д.Ю.

Авторам данного материала выпало счастье познакомиться и трудиться с Марксом Ароновичем в стенах Национальной школы подготовки спасателей-пожарных – Университете гражданской защиты МЧС Беларуси.



М.А. Кремень родился 15 июля 1932 г. в Чечерске. Окончив Минский энергетический техникум (1951), связал свой жизненный путь со службой в вооруженных силах, подготовкой военных кадров и специалистов в сфере управления. Окончил Даугавпилское военное авиационное училище (1953), Военно-воздушную инженерную академию имени Н.Е. Жуковского (1960). Специалист в области радиоэлектроники, теории автоматического управления, авиационной радиолокации, инженерной психологии, в 1960–1985 гг. занимался научно-исследовательской и педагогической деятельностью в Армавирском высшем военном авиационном училище летчиков.

М.А. Кремень – инженер-полковник в отставке, доктор психологических наук (1983), профессор (1985), академик Международной академии технического образования, Международной академии проблем человека в авиации и космонавтике, Международной академии акмеологических наук, Белорусской академии образования.

После завершения военной службы пять лет работал заведующим кафедрой научной организации управления производством Республиканского межотраслевого института повышения квалификации специалистов и руководящих работников отраслей народного хозяйства, затем главным научным сотрудником Национального института образования.

С 1997 г. М.А. Кремень – профессор кафедры «Психология управления» Академии управления при Президенте Республики Беларусь.

Одновременно с работой в Академии Маркс Аронович начинает научно-педагогическую деятельность в нашем учреждении образования: с 2002 г. – ведущий научный сотрудник, с 2012 г. – профессор кафедры гуманитарных наук. Являясь выдающимся ученым в области инженерной психологии, психологии управления и психологии безопасности жизнедеятельности, он внес существенный вклад в развитие научно-образовательного и кадрового потенциала Национальной школы подготовки спасателей-пожарных – Университета гражданской защиты МЧС Беларуси.

На разных этапах научно-исследовательской деятельности Маркс Аронович тесно сотрудничал с известными учеными-психологами: Н.А. Заваловой, О.А. Конопкиным, Б.Ф. Ломовым, Л.А. Ошаниным, К.К. Платоновым, В.А. Пономаренко и др. Работал со многими научными организациями: Институтом авиационной и космической медицины, Институтом общей и педагогической психологии, Санкт-Петербургским университетом и др. Трудился как член экспертного Совета ВАК Беларуси и специальных советов по защите диссертаций.

Научные и педагогические интересы М.А. Кремня неразрывно связаны с инженерной психологией, авиационной психологией, психологией управления. Результаты многочисленных многогранных исследований Маркс Аронович представил более чем в 300 публикациях. Подготовленные им издания эффективно используются в образовательном про-

цессе многих учебных заведений, профессиональной деятельности широкого ряда специалистов.

Многие работы стали настольной книгой руководителей, исследователей, научных работников: «Образ полета при обучении курсантов выполнению фигур пилотажа», «Спасателю о психологии», «Повышение эффективности управления производством путем формирования образа производственного процесса», «Инженерно-психологические аспекты управления производством», «Социально-психологические аспекты управления промышленным производством», «Инженерная психология», «Управление коллективом», «Пути эффективного руководства», «Практическая психология управления», «Математические методы в научных исследованиях» и др. Созданные по итогам его научной деятельности методики используются при подготовке специалистов экстремальных профессий (в том числе в авиации, космонавтике, сфере предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций), управленческого персонала.

Своим богатым научным и профессиональным опытом Маркс Аронович щедро делится с молодыми и состоявшимися учеными. Под его научным руководством и консультированием подготовлено и защищено более 30 кандидатских и докторских диссертаций.

Всего себя сполна ученый-педагог отдает любимому делу!

Желаем Марксу Ароновичу Кремню всего самого доброго, здоровья и долгих лет жизни!

С юбилеем Вас, дорогой Учитель!

**To the 90th anniversary of retired engineer-colonel,
grand PhD in psychological sciences,
professor Marks Aronovich KREMEN**

Palevoda I.I., Gerasimchik A.P., Bogdanovich A.B., Karkin Yu.V., Shamal' D.Yu.

The authors of this material were fortunate to meet and work with Marks Aronovich at the National School for Training Firefighters – the University of Civil Protection of the Ministry for Emergency Situations of Belarus.

**ПРАВИЛА ПРЕДОСТАВЛЕНИЯ
статей для публикации в научном журнале
«Вестник Университета гражданской защиты МЧС Беларуси»**

1. Направляемые в Вестник Университета гражданской защиты МЧС Беларуси статьи должны представлять результаты научных исследований и испытаний, описания технических устройств и программно-информационных продуктов, проблемные обзоры, краткие сообщения, комментарии к нормативным техническим документам, справочные материалы и т.п.

2. Объем научной статьи, учитываемой в качестве публикации по теме диссертации, должен составлять не менее 0,35 авторского листа (14 000 печатных знаков, включая пробелы между словами, знаки препинания, цифры и др.). В этот объем входят таблицы, фотографии, графики, рисунки и список литературы.

3. Статья предоставляется в двух экземплярах. Второй экземпляр статьи должен быть постранично пронумерован и подписан всеми авторами. К рукописи статьи прилагаются: а) рекомендация кафедры, научной лаборатории или учреждения образования; б) экспертное заключение о возможности опубликования статьи в открытой печати; в) подписанный лицензионный договор на право опубликования статьи (заключается с каждым автором отдельно и печатается с двух сторон на одном листе). Форма договора размещена на сайте журнала: <https://journals.ucp.by>.

4. Электронная версия статьи, подготовленная в текстовом редакторе Microsoft Word, предоставляется на стандартных носителях либо по электронной почте на адрес: vestnik@ucp.by. Рисунки прилагаются дополнительно как отдельные файлы графического формата.

5. Материал статьи излагается в следующем порядке:

1) информация об авторах (на отдельном листе): фамилия, имя, отчество – полностью, ученая степень, ученое звание, место работы (полное название, адрес с указанием индекса и страны), должность, рабочий телефон, email (обязательно), имеющиеся персональные идентификационные номера в наукометрических базах (при этом обязательным является указание SPIN-кода РИНЦ, идентификатора ORCID). Если авторов несколько, указывается корреспондент по вопросам содержания статьи;

2) номер УДК (универсальная десятичная классификация);

3) название статьи;

4) аннотация (не менее 200 и не более 300 слов) является основным источником информации о статье, может публиковаться самостоятельно в реферативных журналах и информационных системах в отрыве от основного текста и, следовательно, должна быть понятной без обращения к самой публикации. Аннотация должна раскрывать: *цель* (определяется круг рассматриваемых вопросов, обозначаются цель и задачи работы, объект и предмет исследования); *методы* (излагаются подходы, методы и технологии исследования); *результаты* (приводятся наиболее значимые теоретические положения, экспериментальные данные, подчеркивается их актуальность и новизна); *область применения исследований* (описываются возможности использования полученных результатов, отмечается их научно-практическая значимость);

5) ключевые слова и словосочетания статьи (не более 12 слов);

6) дата поступления статьи (месяц и год);

7) введение; основная часть статьи; заключение, завершаемое четко сформулированными выводами;

8) указание на источник финансирования (если статья подготовлена в рамках выполнения гранта научных исследований);

9) список цитированной литературы. Для каждого источника указывается (при наличии) его DOI. Эксперты международных наукометрических баз данных негативно воспринимают включение в список цитированной литературы источников локального характера (постановлений, законов, инструкций, неопубликованных отчетов, диссертаций, авторефератов и т.п.), электронных материалов и ресурсов сети Интернет. Поэтому ссылки на такие источники рекомендуем оформлять в виде постраничных сносок со сквозной нумерацией.

На отдельной странице на английском языке приводятся следующие сведения: информация об авторах; название статьи; аннотация, обязательно включающая следующие пункты: purpose, methods, findings, application field of research; ключевые слова и словосочетания; транслитерация на латинице и перевод на английский язык списка цитированной литературы.

Для русскоязычных источников в транслитерации на латинице приводятся фамилия, имя, отчество авторов, названия статей, журналов (если нет англоязычного названия), материалов конференций, издательств и на английском языке – названия публикаций и выходные сведения (город, том и номер издания, страницы). Для транслитерации на латиницу следует применять систему транслитерации BGN, при этом можно использовать интернет-ресурсы, например сайт: <http://translit.net>.

Основные требования к оформлению статей, предоставляемых в научный журнал, и пример оформления статьи размещены на сайте издания: <https://journals.ucp.by>.

6. Содержание разделов статьи, таблицы, рисунки, цитированная литература должны отвечать требованиям межгосударственного стандарта ГОСТ 7.1-2003 и Инструкции о порядке оформления квалификационной научной работы (диссертации) на соискание ученых степеней кандидата и доктора наук, автореферата и публикаций по теме диссертации, утвержденной постановлением ВАК Беларуси от 28 февраля 2014 г. № 3.

7. Редакция оставляет за собой право на изменения, не искажающие основного содержания статьи. Рукописи отклоненных статей авторам не возвращаются.

**ГОСУДАРСТВЕННОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ «УНИВЕРСИТЕТ ГРАЖДАНСКОЙ ЗАЩИТЫ
МИНИСТЕРСТВА ПО ЧРЕЗВЫЧАЙНЫМ СИТУАЦИЯМ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ»**

Факультет заочного обучения

Проводит:

Подготовку по специальностям:

1-94 01 01 «Предупреждение и ликвидация чрезвычайных ситуаций» с присвоением квалификации «Инженер по предупреждению и ликвидации чрезвычайных ситуаций». Форма обучения – заочная. Полный срок обучения – 5 лет, сокращенный – 3 года.

По окончании обучения выдается диплом о высшем образовании государственного образца.

Факультет безопасности жизнедеятельности

Проводит:

Переподготовку лиц с высшим образованием по специальностям:

1-94 02 72 «Инжиниринг безопасности объектов строительства» с присвоением квалификации «Инженер по безопасности». Срок обучения – 18 месяцев. Форма обучения – заочная (три сессии).

1-94 02 71 «Промышленная безопасность» с присвоением квалификации «Инженер по промышленной безопасности». Срок обучения – 18 месяцев. Форма обучения – заочная (три сессии).

По окончании обучения выдается диплом государственного образца о переподготовке на уровне высшего образования.

Повышение квалификации для руководящих работников и специалистов, имеющих высшее или среднее специальное образование, по образовательным программам:

- «Экспертная деятельность»;
- «Экспертная деятельность» для работников органов и подразделений по ЧС;
- «Пожарная безопасность. Предупреждение чрезвычайных ситуаций. Инженерно-технические мероприятия гражданской обороны»;
- «Монтаж, наладка и техническое обслуживание систем пожарной автоматики и противодымной защиты» (очная/заочная (дистанционная) форма обучения);
- «Техническое обслуживание систем пожарной автоматики»;
- «Проектирование систем пожарной автоматики и противодымной защиты» (очная/заочная (дистанционная) форма обучения);
- «Лица, осуществляющие капитальный ремонт (перезарядку) огнетушителей, торговлю средствами противопожарной защиты» (очная/заочная (дистанционная) форма обучения);
- «Выполнение работ с применением огнезащитных составов (инженерно-технические работники)» (очная/заочная (дистанционная) форма обучения);
- «Обеспечение пожарной безопасности на объектах Республики Беларусь» (очная/заочная (дистанционная) форма обучения);
- «Обеспечение пожарной безопасности на объектах с массовым пребыванием людей» (очная/заочная (дистанционная) форма обучения);
- «Промышленная безопасность» (заочная (дистанционная) форма обучения);
- «Организация и обеспечение промышленной безопасности предприятий химической промышленности, хранения и переработки зерна, аммиачных и хлораторных установок» (заочная (дистанционная) форма обучения);
- «Радиационная безопасность» (при использовании источников ионизирующего излучения в медицинских целях) (очная/заочная (дистанционная) форма обучения);
- «Радиационная безопасность» (при использовании источников ионизирующего излучения, в целях отличных от медицинских) (очная/заочная (дистанционная) форма обучения);
- «Основы обеспечения ядерной и радиационной безопасности» (для лиц, участвующих в обеспечении ядерной и радиационной безопасности при эксплуатации объектов использования атомной энергии) (очная/заочная (дистанционная) форма обучения);
- «Категорирование помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности»;
- «Охрана труда» (очная/заочная (дистанционная) форма обучения);
- «Противодействие коррупции» (заочная (дистанционная) форма обучения);
- «Защита от чрезвычайных ситуаций» (заочная (дистанционная) форма обучения).

Обучающие курсы для лиц, имеющих профессионально-техническое и общее среднее образование, по образовательным программам:

- «Монтаж, наладка и техническое обслуживание систем пожарной автоматики и противодымной защиты» (очная/заочная (дистанционная) форма обучения);
- «Техническое обслуживание систем пожарной автоматики»;
- «Выполнение работ с применением огнезащитных составов (исполнители работ)» (очная/заочная (дистанционная) форма обучения);
- «Защита от чрезвычайных ситуаций» (заочная (дистанционная) форма обучения);
- «Обеспечение пожарной безопасности на объектах с массовым пребыванием людей».

Семинары по образовательным программам:

- «Оказание первой помощи пострадавшим в ЧС»;
- «Расчет предела огнестойкости (железобетонных, металлических, деревянных, каменных строительных конструкций)»;
- «Расчет времени эвакуации людей при пожаре»;
- «Расчет температурного режима пожара в помещении»;
- «Расчет величины противопожарных разрывов между зданиями, сооружениями и наружными установками»;
- «Расчет площади легкобросываемых конструкций»;
- «Категорирование помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности»;
- «Порядок проектирования пассивной противопожарной защиты зданий различного назначения»;
- «Оптимизация затрат на обеспечение требований пожарной безопасности на основании расчетных методов»;
- «Порядок подготовки организации к пожарно-техническому обследованию»;
- «Охрана труда в организациях непромышленной сферы».

Подготовку лиц к поступлению в учреждения образования Республики Беларусь по учебным предметам: математика, физика, русский язык, русский язык как иностранный, белорусский язык, английский язык, немецкий язык, французский язык, история, обществоведение, химия (очная/заочная (дистанционная) форма обучения).

Обучение проводит профессорско-преподавательский состав университета и ведущие специалисты Республики Беларусь в области пожарной и промышленной безопасности.

Наш адрес: 220118, г. Минск, ул. Машиностроителей, 25,
ФЗО: тел/факс (017) 340-71-89,
ФБЖ: тел. (017) 340-69-55, факс (017) 340-35-58, email: fpipk@ucsp.by.

Дополнительная информация размещена на сайте университета: <http://ucsp.by>
в разделе «Повышение квалификации»

Научный журнал

Вестник
Университета гражданской защиты МЧС Беларуси
Том 6, № 3, 2022

Подписано в печать 12.08.2022.
Формат 60x84 1/8.
Бумага офсетная. Цифровая печать.
Гарнитура Таймс.
Усл. печ. л. 14,88. Уч.-изд. л. 14,13.
Тираж 110 экз. Заказ 076-2022.

Издатель и полиграфическое исполнение:
Государственное учреждение образования
«Университет гражданской защиты Министерства
по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь».
Свидетельство о государственной регистрации издателя,
изготовителя, распространителя печатных изданий
№ 1/259 от 14.10.2016.
Ул. Машиностроителей, 25, 220118, Минск.