

ISSN 2658-6223

Управление
в организационных системах
(технические науки)

Строительные конструкции,
здания и сооружения
(технические науки)

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

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

Строительные материалы
и изделия
(технические науки)

Экологическая безопасность
строительства
и городского хозяйства
(технические науки)

Пожарная безопасность
(технические науки)

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

СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ГРАЖДАНСКОЙ ЗАЩИТЫ

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

№ 3 (48), 2023



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

Территория распространения — Российская Федерация.

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

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

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

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

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

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

Члены редколлегии:

Акулова Марина Владимировна – д-р техн. наук, профессор, Советник РААСН, заведующий кафедрой архитектуры и строительных материалов ФГБОУ ВО «Ивановский государственный политехнический университет» (Россия, г. Иваново)
Алексеев Михаил Иванович – д-р техн. наук, профессор, академик РААСН, профессор кафедры водопользования и экологии ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет» (Россия, г. Санкт-Петербург)
Барбин Николай Михайлович – д-р техн. наук, профессор, ведущий научный сотрудник научно-исследовательского отдела ФГБОУ ВО «Уральский институт ГПС МЧС России» (Россия, г. Екатеринбург)
Баканов Максим Олегович – д-р техн. наук, доцент, начальник Учебно-научного комплекса «Пожаротушение» Ивановской пожарно-спасательной академии ГПС МЧС России (Россия, г. Иваново)
Бубнов Андрей Германович – д-р хим. наук, доцент, профессор кафедры эксплуатации пожарной техники, средств связи и малой механизации (в составе УНК «Пожаротушение») Ивановской пожарно-спасательной академии ГПС МЧС России (Россия, г. Иваново)
Бутман Михаил Федорович – д-р физ.-мат. наук, профессор, главный научный сотрудник, профессор кафедры технологии керамики и наноматериалов ФГБОУ ВО «Ивановский государственный химико-технологический университет» (Россия, г. Иваново)
Бутузов Станислав Юрьевич – д-р техн. наук, доцент, профессор кафедры информационных технологий (в составе учебно-научного комплекса автоматизированных систем и информационных технологий) ФГБОУ ВО «Академия ГПС МЧС России» (Россия, г. Москва)
Горина Светлана Владимировна – д-р экон. наук, профессор, профессор кафедры основ экономики функционирования РСЧС Ивановской пожарно-спасательной академии ГПС МЧС России (Россия, г. Иваново)
Ерофеев Владимир Трофимович – д-р техн. наук, профессор, академик РААСН, заведующий кафедрой строительных материалов и технологий ФГБОУ ВО «Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева» (Россия, Республика Мордовия, г. Саранск)
Ефремов Александр Михайлович – д-р хим. наук, профессор, профессор кафедры технологии приборов и материалов электронной техники ФГБОУ ВО «Ивановский государственный химико-технологический университет» (Россия, г. Иваново)
Камлюк Андрей Николаевич – канд. физ.-мат. наук, доцент, заместитель начальника ГУО «Университет гражданской защиты МЧС Республики Беларусь» по научной и инновационной деятельности (Республика Беларусь, г. Минск)
Ковтун Вадим Анатольевич – д-р техн. наук, профессор, профессор кафедры оперативно-тактической деятельности и техники Гомельского филиала ГУО «Университет гражданской защиты МЧС Республики Беларусь» (Республика Беларусь, г. Гомель)
Колобов Михаил Юрьевич – д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой технологических машин и оборудования ФГБОУ ВО «Ивановский государственный химико-технологический университет» (Россия, г. Иваново)

Краснов Александр Алексеевич – д-р техн. наук, доцент, профессор кафедры естественнонаучных дисциплин Ивановской пожарно-спасательной академии ГПС МЧС России (Россия, г. Иваново)
Лопанов Александр Николаевич – д-р техн. наук, профессор, профессор кафедры безопасности жизнедеятельности ФГБОУ ВО «Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова» (Россия, г. Белгород)
Назарычев Александр Николаевич – д-р техн. наук, профессор, профессор кафедры электроэнергетики и электромеханики ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский горный университет» (Россия, г. Санкт-Петербург)
Присадков Владимир Иванович – д-р техн. наук, профессор, главный научный сотрудник ФГБУ ВНИИПО МЧС России (Россия, г. Балашиха)
Румянцева Варвара Евгеньевна – д-р техн. наук, профессор, член-корреспондент РААСН, директор института информационных технологий, естественных и гуманитарных наук ФГБОУ ВО «Ивановский государственный политехнический университет» (Россия, г. Иваново)
Степанов Сергей Гаевич – д-р техн. наук, доцент профессор кафедры мехатроники и радиоэлектроники ФГБОУ ВО «Ивановский государственный политехнический университет» (Россия, г. Иваново)
Сырбу Светлана Александровна – д-р хим. наук, профессор, заведующий кафедрой естественнонаучных дисциплин Ивановской пожарно-спасательной академии ГПС МЧС России (Россия, г. Иваново)
Теличенко Валерий Иванович – д-р техн. наук, профессор, заслуженный деятель науки Российской Федерации, академик РААСН, президент Национального исследовательского университета «Московский государственный строительный университет» (Россия, г. Москва)
Федосеев Вадим Николаевич – д-р техн. наук, профессор, профессор кафедры организации производства и городского хозяйства ФГБОУ ВО «Ивановский государственный политехнический университет» (Россия, г. Иваново)
Хафизов Ильдар Фанильевич – д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой пожарной и промышленной безопасности пожарной и промышленной безопасности ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет» (Россия, г. Уфа)
Циркина Ольга Германовна – д-р техн. наук, доцент, профессор кафедры пожарной безопасности объектов защиты (в составе УНК «Государственный надзор») Ивановской пожарно-спасательной академии ГПС МЧС России (Россия, г. Иваново)
Шевцов Сергей Александрович – д-р техн. наук, доцент, доцент кафедры эксплуатации авиационной техники ВУНЦ ВВС «Военно-воздушная академия им. профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (Россия, г. Воронеж)

Технический редактор: Чуприна Ольга Сергеевна

Подписной индекс в каталоге «Почта России» – ПН138.

Дата выхода в свет 28.09.2023 г. Формат 60x90 1/8. Усл. печ. л. 22,1. Тираж 100 экз. Заказ № 88.

Свидетельство о регистрации СМИ ПИ № ФС77-84179 от 15.11.2022

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

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

Тел.: (4932) 93-08-00, доб. 1560; e-mail: journal@edufire37.ru

© Ивановская пожарно-спасательная академия
ГПС МЧС России, 2023

СОДЕРЖАНИЕ / CONTENTS

**УПРАВЛЕНИЕ В ОРГАНИЗАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ (ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ) MANAGEMENT
IN ORGANIZATIONAL SYSTEMS (TECHNICAL)**

Апарин А. А., Семенов А. О. Разработка модели управления размещением систем видеонаблюдения в пожарно-спасательном гарнизоне	5
Aparin A. A., Semenov A. O. Development of a management model for the placement of video surveillance systems in the fire and rescue garrison	5
Багажков И. В., Никишов С. Н., Кузнецов А. В. Алгоритм реализации сценариев ситуационных пожарно-тактических задач с применением МВТК-МЧС	11
Bagazhkov I. V., Nikishov S. N., Kuznetsov A. V. Algorithm for the implementation of scenarios of situational fire tactical tasks with the use of MVTK-EMERCOM	11
Боровкова Н. В., Медведева М. В. Маркетинговый подход к формированию территориальной безопасности	21
Borovkova N. V., Medvedeva M. V. Marketing approach to the formation of territorial security	21
Данилов М. М., Денисов А. Н., Королев П. С. Решение задачи управления составом оперативного штаба на месте пожара в подземных сооружениях	28
Danilov M. M., Denisov A. N., Korolev P. S. The task of controlling the operational headquarters staff on the scene of a fire in an underground structure	28

**ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ СТРОИТЕЛЬСТВА И ГОРОДСКОГО ХОЗЯЙСТВА
(ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ)
ECOLOGICAL SAFETY OF CONSTRUCTION AND URBAN MANAGEMENT (TECHNICAL)**

Цветков А. С., Буймова С. А., Бубнов А. Г., Буймов С. Д. Сравнительная характеристика риска от употребления воды из вендинговых аппаратов и родников	36
Tsvetkov A. S., Buymova S. A., Bubnov A. G., Buimov S. D. Comparative characteristics of the risk from the use of water from vending machines and springs	36

**ПОЖАРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ (ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ)
FIRE SAFETY (TECHNICAL)**

Аристархов В. А., Двоенко О. В., Передня Д. А., Савонина А. В. Перспектива применения электромобилей в подразделениях пожарной охраны МЧС России	45
Aristarkhov V. A., Dvoenko O. V., Perednya D. A., Savonina A. V. The prospect of using electric vehicles in the fire service of the Ministry of Emercom of Russia	45
Бубнов В. Б., Репин Д. С. Анализ практики эксплуатации групп совместно работающих насосов в противопожарном водоснабжении и подходов к аналитическому описанию их характеристик	55
Bubnov V. B., Repin D. S. Analysis of the practice of operation of groups of jointly operating pumps in fire-fighting water supply and approaches to the analytical description of their characteristics	55
Захматов В. Д., Крутолапов А. С., Мироньчев А. В., Щербак Н. В. Новая техника тушения аварийного разлива горящих нефтепродуктов на мостах из поезда с цистернами	62
Zakhmatov V. D., Krutolapov A. S., Mironchev A. V., Shcherbak N. V. A new technique for extinguishing an emergency spill of burning oil products on the bridges from a train with tanks	62
Кондратьева Л. В., Коваль Ю. Н. Исследование остатков инициаторов поджога	69
Kondratieva L. V., Koval Yu. N. Investigation of the residues of the arres	69
Кочеткова Е. Б., Ланин С. Н. Влияние пожара и естественного испарения на результаты обнаружения и идентификации компонентного состава автомобильных бензинов	74
Kochetkova E. B., Lanin S. N. The effect of fire and natural evaporation on the results of detection and identification of the component composition of gasoline	74
Лебедева Н. Ш., Гришина Е. П., Снегирев Д. Г., Гессе Ж. Ф., Дашеев Э. Ю., Юсубов А. Ю. Термогравиметрический анализ опилок лиственных и хвойных пород деревьев	83
Lebedeva N. Sh., Grishina E. P., Snegirev D. G., Gesse Zh. F., Dasheev E. Yu., Yusubov A. Yu. Thermogravimetric analysis of sawdust of deciduous and coniferous trees	83

Мозжерин А. В., Паклин Н. Н. Дефектостойкость оборудования на основе теллурида кадмия при импульсной тепловозе техногенного пожара.....	89
Mozzherin A. V., Paklin N. N. Defect resistance of equipment based on cadmium telluride under pulsed heat dose of industrial fire.....	89
Мочалова Т. А., Сторонкина О. Е. Исследование способности к воспламенению и устойчивому горению мягких элементов мебели от кальянных углей.....	95
Mochalova T. A., Storonkina O. E. Research of the ability to ignition and stable combustion of soft furniture elements from hookah coals.....	95
Натареев С. В., Рябиков А. А., Быков А. А., Сырбу С. А. Ионобменная очистка воды от ионов тяжелых металлов на сорбенте из растительного сырья.....	100
Natareev S. V., Ryabikov A. A., Bykov A. A., Syrbu S. A. Ion exchange water purification from heavy metal ions on a sorbent from vegetable raw materials.....	100
Салихова А. Х., Шварев Е. А., Самойлов Д. Б., Лазарев А. А. Рекомендации по определению частоты реализации пожароопасных ситуаций на технологическом оборудовании с пожаровзрывоопасными технологическими средами.....	107
Salikhova A. H., Shvarev E. A., Samoilov D. B., Lazarev A. A. Recommendations for determining the frequency of fire hazardous situations on technological equipment with fire and explosion hazardous technological environments.....	107
Сараев И. В., Семенов А. Д. Альтернативный способ ремонта напорных пожарных рукавов.....	116
Saraev I. V., Semenov A. D. Alternative method of repairing pressure fire hoses.....	116
Сараев И. В., Семенов А. Д., Бочкарёв А. Н. Восстановление боеготовности мобильных средств пожаротушения в условиях низких температур.....	124
Saraev I. V., Semenov A. D., Bochkarev A. N. Restoration of combat readiness of mobile fire extinguishing equipment in conditions of low temperatures.....	124

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

Акулова М. В., Голубев Н. С., Рудой А. И., Касаткина Н. К. Особенности получения легких бетонов на органических заполнителях.....	134
Akulova M. V., Golubev N. S., Rudoy A. I., Kasatkina N. K. Features of obtaining light concrete on organic aggregates.....	134
Пашкова Т. В., Краснов А. А. Исследование возможности увеличения прочностных характеристик стали с целью повышения надежности строительных конструкций.....	142
Pashkova T. V., Krasnov A. A. Investigation of the possibility of increasing the strength characteristics of steel in order to increase the reliability of building structures.....	142
Румянцева В. Е., Коновалова В. С., Нармания Б. Е., Фролова Т. В. Влияние добавок нитратов на интенсивность массообменных коррозионных процессов в цементном камне бетона при хлоридной коррозии.....	148
Rumyantseva V. E., Konovalova V. S., Narmaniya B. E., Frolova T. V. The effect of nitrate additives on the intensity of mass transfer corrosion processes in concrete cement stone during chloride corrosion.....	148
Румянцева В. Е., Красильников И. В., Новикова У. А., Красильникова И. А., Строкин К. Б. Трансформация прочности бетона при эксплуатации конструкции в агрессивной воздушной среде с изменяющимися параметрами.....	158
Rumyantseva V. E., Krasilnikov I. V., Krasilnikova I. A., Novikova U. A., Strokin K. B. Transformation of concrete strength during construction operation in an aggressive air environment with changing parameters.....	158
Румянцева В. Е., Панченко Д. А., Панченко Ю. Ф., Коновалова В. С., Медведева Э. Н., Шварев Е. А. Микробиологическая стойкость штукатурного раствора на основе извести.....	169
Rumyantseva V. E., Panchenko D. A., Panchenko Iu. F., Konovalova V. S., Medvedeva E. N., Shvarev E. A. Microbiological resistance of lime-based plaster mortar.....	169

**УПРАВЛЕНИЕ В ОРГАНИЗАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ
(ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ)
MANAGEMENT IN ORGANIZATIONAL SYSTEMS (TECHNICAL)**

УДК 614.842, 621.398

**РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ УПРАВЛЕНИЯ РАЗМЕЩЕНИЕМ СИСТЕМ
ВИДЕОНАБЛЮДЕНИЯ В ПОЖАРНО-СПАСАТЕЛЬНОМ ГАРНИЗОНЕ**

А. А. АПАРИН, А. О. СЕМЕНОВ

Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,
Российская Федерация, г. Иваново
E-mail: aparin.ivanovo-37@yandex.ru

В данной статье разрабатывается модель управления размещением систем видеонаблюдения в пожарно-спасательном гарнизоне (на территории населенного пункта). Модель носит достаточно общий характер и предназначена для выявления территорий районов выезда пожарно-спасательных частей, приоритетных, в плане дополнительной установки систем видеонаблюдения. Приоритетность территории обосновывается многокритериальным анализом.

Ключевые слова: пожарная безопасность, управленческие решения, информационная поддержка, видеомониторинг, оперативное реагирование, ценность информации.

**DEVELOPMENT OF A MANAGEMENT MODEL FOR THE PLACEMENT
OF VIDEO SURVEILLANCE SYSTEMS IN THE FIRE AND RESCUE GARRISON**

A. A. APARIN, A. O. SEMENOV

Federal State Budget Educational Establishment of Higher Education
«Ivanovo Fire Rescue Academy of State Firefighting Service of Ministry of Russian Federation
for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters»,
Russian Federation, Ivanovo
E-mail: aparin.ivanovo-37@yandex.ru

This article develops a model for managing the placement of video surveillance systems in a fire and rescue garrison. The model is quite general in nature and is designed to identify the territories of the areas of departure of fire and rescue units, priority, in terms of additional installation of video surveillance systems. The priority of the territory is justified by a multi-criteria analysis.

Key words: fire safety, management decisions, information support, video monitoring, rapid response, the value of information.

В текущий момент времени существует тенденция развития практики применения в деятельности территориальных органов МЧС России систем видеонаблюдения (СВН, под этим также понимаются оконечные устройства видеонаблюдения – камеры) для снижения дефицита информации у органов управления при возникновении чрезвычайных ситуаций на подведомственной территории. Определенные должностные лица могут просматривать изображение с камер городского видеонаблюдения (к которым имеется разрешенный доступ) после принятия вызова.

В качестве нормативного обоснования подобного доступа в том числе выступает Концепция построения и развития аппаратно-программного комплекса «Безопасный город»¹, где определены базовые функциональные требования к комплексу по направлению «Предупреждение и защита муниципального образования от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера, обеспечение пожарной безопасности», среди которых

¹ Распоряжение Правительства РФ от 3 декабря 2014 г. № 2446-р о Концепции построения и развития аппаратно-программного комплекса «Безопасный город».

присутствует следующее положение: «предоставление доступа к видеопотоку соответствующих камер видеонаблюдения».

Наиболее выраженный характер обобщаемое явление имеет в крупных населенных пунктах, где количество камер видеонаблюдения исчисляется десятками тысяч – в Москве и Санкт-Петербурге. С точки зрения теории управления организационными системами, можно говорить о формировании в территориальных органах МЧС России этих городов новой организационной структуры (существующей в период времени от принятия сообщения о пожаре/ происшествии, до окончания работ задействованных подразделений) – организационной системы (ОС) управления оперативным реагированием (УОР) пожарно-спасательных подразделений (ПСП) с интегрированной подсистемой видеонаблюдения. Главное отличие от ранее сформированных ОС – непосредственная возможность визуальной оценки обстановки до прибытия первых должностных лиц к месту вызова. В новой ОС лица, принимающие решения (ЛПР), осуществляя мониторинг, по его результатам могут принимать решения, что особенно актуально в период следования первых должностных лиц к месту вызова.

Ниже представлено разъяснение смыслового содержания понятий «мониторинг» и «видеомониторинг».

В традиционном подходе [1] выделяются четыре основные (общие) функции управления: «планирование», «организация», «стимулирование» и «контроль». В таком случае, мониторинг попадает в множество компонент функции «планирование».

Однако, если управление осуществляется в условиях дефицита времени и информации, то роль мониторинга может быть гораздо более значимой. Например, в монографии [2], мониторинг рассматривается как координационная функция управления (в дополнении к четырем общим функциям), которая объединяет основные функции управления в единую систему и обеспечивает процесс управления необходимой информацией. Такой подход целесообразнее использовать применительно к рассматриваемой теме.

Таким образом, в данном контексте, мониторинг по смысловому значению наиболее близок к категории основных функций управления и имеет основную цель – повысить эффективность управления. Видеомониторинг, в свою очередь, стоит определить как процесс (непрерывный в определенный интервал времени) использования потока изображений с камер видеонаблюдения для получения определенных данных (оценка обстановки на месте

вызова), с целью увеличения полноты имеющейся для принятия решения информации.

Необходимо отметить, что источники получения информации для обеспечения выполнения цели мониторинга могут быть разные. Например, для нештатной должности «диспетчер гарнизона» (уровень пожарно-спасательного гарнизона (ПСГ) ОС УОРПСП), источниками информации могут быть: сообщения по телефонным линиям связи; радиобмен с должностными лицами, следующими на место вызова; сообщения, поступившие иными способами; результаты видеомониторинга.

Техническими системами и средствами видеомониторинга, формирующими источник видеoinформации, являются: оконечные устройства, программное и техническое обеспечение, необходимое для передачи видеоданных с места возникновения, развития и ликвидации деструктивного события оператору, и воспроизведения этих данных на автоматизированном рабочем месте, а также, непосредственно, каналы связи.

Получаемые данные помогают должностным лицам, в определенных случаях, принять управленческие решения на ранних этапах реагирования.

Стоит отметить, что вопросы, связанные с применением видеoinформации для информационной поддержки ПСП, также обсуждаются и для более позднего периода оперативного реагирования – осуществления работ непосредственно на месте вызова [3,4].

Информация, поступающая от всех источников $V_{инф.}(t)$, снижает общий уровень дефицита информации $D_{инф.}(t)$ (формула 1), который, в свою очередь, может быть представлен векторной функцией времени.

$$D_{инф.}(t) = 1 - V_{инф.}(t). \quad (1)$$

При рассмотрении $D_{инф.}(t)$, уместно упомянуть прагматическую меру информации или «ценность информации», показатель введенный академиком А. А. Харкевичем. Ценность информации \tilde{I} (формула 2), в данном случае выражается через приращение вероятности достижения цели управления после поступления информации [5].

$$\tilde{I} = \log_2 p_1 - \log_2 p_0, \quad (2)$$

где p_0 – вероятность достижения цели до поступления информации;

p_1 – вероятность достижения цели после поступления информации.

Необходимо обратить внимание на то, что информация имеет ценность только в случае ее непосредственного поступления ЛПР.

При этом, в результате анализа проблем практического применения СВН, было выявлено, что:

– не все установленные камеры имеют оптимальный ракурс и место размещения (с точки зрения информативности для ПСГ);

– в доступном радиусе запроса видеоданных может не присутствовать ни одной камеры;

– некоторые здания могут не попадать в поле зрения камер видеонаблюдения, находящихся на других зданиях и сооружениях. Данное обстоятельство способствует снижению полноты информации, что является особенно значимой проблемой, если речь идет о верификации ситуации при пожарах и происшествиях в зданиях социального и медицинского назначения, образовательных организациях различного уровня, иных организациях с массовым пребыванием людей.

Данные обстоятельства являются факторами, которые могут снижать, а в некоторых случаях сводить к нулю, ценность информации, необходимой для ЛПР, сохраняя значение $D_{инф.}(t)$ при исчерпании или недоступности иных источников данных.

Поэтому актуальна тема развития инструментов по определению приоритетных территорий ПСГ для установки СВН, в том числе с учетом потребностей служб экстренного реагирования, имеющих доступ к видеопотоку (в данном случае – пожарной охраны) для повышения вероятности получения потока видеoinформации с места вызова (за счет целенаправленного планирования географии размещения видеокамер).

В ходе проведения предварительного анализа не было выявлено моделей, алгоритмов и программного обеспечения для определения приоритетных территорий потенциального размещения СВН на территории населенных пунктов (и ПСГ). Вопросы подготовки математической основы для создания варианта алгоритма по определению предпочтительных территорий ПСГ при планировании размещения СВН были рассмотрены авторами данной статьи в работе [6].

Основная идея [6] заключается в абстрактном «разбиении» территории районов выезда пожарно-спасательных частей² (РВ) на

s секторов – направлений дорожной сети с последующим анализом множества секторов по ряду критериев K и последующему ранжированию по заданному правилу для выделения секторов (частей РВ), на которые, с точки зрения используемых критериев анализа, стоит обратить внимание в первую очередь ЛПР по планированию размещения СВН в населенных пунктах (ПСГ).

Формула 3 задает общую структуру разрабатываемой модели управления размещением СВН (оконечных устройств – камер) в населенных пунктах (ПСГ).

$$M = \langle U_{доп.}, N_{общ.}(t), f \rangle, \quad (3)$$

где $U_{доп.}$ – множество допустимых управлений, при этом конкретное управление обозначается как $u_i \in U_{доп.}$;

$N_{общ.}$ – общее количество оконечных устройств в одном из РВ ПСГ;

f – целевая функция, задающая принцип поиска оптимального управления $u_{опт.} \in U_{доп.}$.

$N_{общ.}$ для каждого момента времени (до и после осуществления управления $U_{доп.}$) имеет определенное значение, поэтому целесообразно рассматривать данный переменный показатель в виде векторной функции времени $N_{общ.}(t)$.

Общее количество камер на j -той территории $N_j \in N_{общ.}$, также представлено как вектор-функция времени $N_j(t)$ и имеет следующую связь с $N_{общ.}(t)$ (формула 4):

$$\begin{cases} N_{общ.}(t^0) = \sum_{s_0=1}^{s_1} N_j(t^0), s = 1, 2, \dots, s_1 \\ N_{общ.}(t_u) = \sum_{s_0=1}^{s_1} N_j(t_u), s = 1, 2, \dots, s_1' \end{cases} \quad (4)$$

где t^0 – момент времени, когда управление u_i не осуществлено, начальное состояние;

t_u – момент времени, после осуществления управления u_i .

Ограничение модели (формула 5) дает характеристику осуществленному управлению u_i , касательно интервала, в котором возможен прирост количества установленных камер на j -той территории населенного пункта (ПСГ).

$$\begin{cases} n_{уст. j} \leq N_j(t) \leq n_{уст. j} + n_{план. уст. j} \\ N_j(t_u) = n_{уст. j} + n_{доп. уст. j} \\ n_{план. уст. j} \leq n_{доп. уст. j} \leq n_{план. уст. j} \end{cases}, \quad (5)$$

где $n_{уст. j}$ – количество установленных видеокамер на j -той территории до осуществления

² Для каждого подразделения гарнизона Расписанием выезда определяется территория, в границах которой предусмотрено первоочередное направление сил и средств этого подразделения, по первому сообщению о пожаре согласно Приказу МЧС России

от 25.10.2017 № 467 «Об утверждении Положения о пожарно-спасательных гарнизонах».

управления U_i , $n_{уст.j} \in [0, l]$, l – некоторое предельное значение;

$n_{план.уст.j}$ – изначально планируемое к установке количество видеокамер на j -той территории

$n_{план.уст.j} \in [0, l]$; $n_{доп.уст.j}$ – установленное по итогу управления u_i количество видеокамер на j -той территории, $n_{план.уст.j} \in [0, l]$.

Множество $U_{доп.}$ состоит из всех возможных комбинаций допустимых управленческих решений по сумме всех территорий для каждого РВ. Любое допустимое управление имеет вид (формула 6):

$$u_i = \sum_{s_0=1}^s \Delta_j a_j N_{общ.}(t_u), j = 1, 2, \dots, s, \quad (6)$$

где $\Delta_j \in \Delta_m$ – результат анализа j -той территории РВ ПСГ под номером m по критериям K (формула 8);

a_j – коэффициент, определяемый для каждой j -той территории, с целью выполнения определяющего принципа целевой функции f (формула 7), $\sum_{s_0=1}^s a_j = 1$.

$$f(U) = \sum_{s_0=1}^s \Delta_j a_j N_{общ.}(t_u) \xrightarrow{u_i \rightarrow u_{опт.}} max. \quad (7)$$

Показатель Δ_j является комплексным и состоит из оценки j -той территории по ряду критериев K . Роль коэффициента a_j заключается в распределении доступного к установке количества видеокамер в зависимости от значения Δ_j , причем Δ_j и a_j находятся в прямой зависимости.

Для постановки в соответствие наибольшему значению Δ_j , наибольшего значения a_j , необходимо применить модель анализа и ранжирования AR_M в порядке предпочтительности всех территорий для отдельно взятого РВ.

$$AR_M = \langle T_m, \Delta_m, R, K, F \rangle, \quad (8)$$

где T_m – множество идентичных по геометрическим параметрам секторов, на которые разделен РВ под номером m ;

Δ_m – множество значений показателей Δ_j для РВ под номером m ;

R – правило ранжирования элементов множества Δ_m (от большего значения к меньшему);

K – множество критериев, применяемых для анализа каждого отдельно взятого элемента из T_m ;

F – функция анализа каждого отдельно взятого элемента из T_m .

На основе проведенного первичного анализа проблем, связанных с использованием видеoinформации на практике при организации оперативного реагирования, были выдвинуты следующие критерии анализа территорий (секторов) РВ ПСГ:

k_1 – удаленность осуществленных выездов в пределах каждого сектора от конкретной пожарно-спасательной части за период времени T ,

k_2 – удаленность объектов социального и медицинского назначения, образовательных организаций различного уровня, иных организаций с массовым пребыванием людей от конкретной пожарно-спасательной части,

k_3 – удаленность объектов, представляющих наивысшую материальную ценность от конкретной пожарно-спасательной части.

Предполагается дальнейшее развитие системы используемых для анализа критериев.

Функция F , анализируя с использованием критериев K элементы множества T_m , синтезирует элементы множества Δ_m , которые при обработке по правилу R формируют итоговый ранжированный ряд территорий РВ для отдельно взятой пожарно-спасательной части (располагающейся на территории населенного пункта и входящей в состав ПСГ).

Соответственно, в решении задачи по формированию оптимального управления размещением СВН в населенных пунктах (ПСГ), первому элементу множества Δ_m ставится в соответствие наибольшее, но рационально [7] обоснованное значение a_j . Однако подход к определению коэффициента, определяемого для каждой j -той территории с целью выполнения определяющего принципа целевой функции f , планируется разработать в дальнейших исследованиях.

В качестве уже существующего научно-го задела по исследуемой теме, необходимо назвать зарегистрированную и совершенствуемую программу для ЭВМ [8], предназначенную для возможности ЛПР использовать предложенную модель на практике.

Также стоит отметить, что в дополнение к модели управления размещением СВН в населенных пунктах (ПСГ), необходимо разработать ряд требований по локальному размещению оконечных устройств для формирования информативных ракурсов, сводящих к минимально возможному значению показатель дефицита информации при возникновении пожаров и других происшествий на определенном перечне объектов.

В целом, рассмотренная в данной статье модель направлена на развитие превентивных способов информационной поддержки подразделений пожарной охраны, осуществ-

ляющих оперативное реагирование. То есть, способов призванных:

во-первых, до начала реагирования создать условия для повышения полезности информации, которая потенциально может поступить;

во-вторых, создать условия для снижения общего дефицита информации,

и в системе – повысить эффективность управления за счет полноты имеющейся информации.

Список литературы

1. Новиков Д. А. Теория управления организационными системами. М.: МПСИ, 2005. 584 с.

2. Рычихина Э. Н. Мониторинг как общая функция управления: монография. Ухта: УГТУ, 2008. 140 с.

3. Кузнецов А. В., Бутузов С. Ю., Тараканов Д. В. Алгоритм оценки важности задач организации мониторинга крупного пожара // Современные проблемы гражданской защиты. 2022. № 2 (43). С. 27–33.

4. Апарин А. А. Видеомониторинг: мировая практика использования и перспективы применения в обеспечении пожарной безопасности // Технологии техносферной безопасности. 2021. № 1 (91). С. 67–84. DOI 10.25257/TTS.2021.1.91.67-84.

5. Харкевич А. А. О ценности информации // Проблемы кибернетики. 1960. № 4. С. 53–57.

6. Апарин А. А. Определение предпочтительных территорий пожарно-спасательного гарнизона при планировании размещения систем видеомониторинга // Сборник трудов Конкурса научно-исследовательских работ. М.: Ассоциация разработчиков, изготовителей и поставщиков средств индивидуальной защиты, 2023. С. 6–9.

7. Бурькин Е. С. Подходы к принятию оптимального управленческого решения: рациональный и интуитивный // Вестник Московского университета имени С. Ю. Витте. Серия 1: Экономика и управление. 2022. № 2 (41). С. 74–79

8. Свидетельство Роспатента о государственной регистрации программы для ЭВМ RU № 2022666928 RU. Программа для поддержки принятия решений при планировании размещения систем видеомониторинга в пожарно-спасательном гарнизоне / А. А. Апарин; заявл. 06.09.2022; опубл. 12.09.2022.

2. Rychikhina E. N. *Monitoring kak obshchaia funktsiia upravleniia: monografiia* [Monitoring as a general management function: monograph]. Ukhta: UGTU, 2008. 140 p.

3. Kuznetsov A. V., Butuzov S. Ju., Tarakanov D. V. *Algoritm otsenki vazhnosti zadach organizatsii monitoringa krupnogo pozhara* [Algorithm for assessing the importance of the tasks of organizing monitoring of a large fire]. *Sovremennye problemy grazhdanskoi zashchity*, 2022, vol. 2 (43), pp. 27–33.

4. Aparin A. A. *Videomonitoring: mirovaia praktika ispol'zovaniia i perspektivy primeneniia v obespechenii pozharnoi bezopasnosti* [Video monitoring: world practice of use and prospects for application in fire safety]. *Tekhnologii tekhnosfernoi bezopasnosti*, 2021, vol. 1 (91), pp. 67–84. DOI 10.25257/TTS.2021.1.91.67-84.

5. Kharkevich A. A. *O tsennosti informatsii* [On the value of information]. *Problemy kibernetiki*, 1960, vol. 4, pp. 53–57.

6. Aparin A. A. *Opreделение predpochtitel'nykh territorii pozharno-spatatel'nogo garnizona pri planirovanii razmeshcheniia sistem videomonitoringa* [Determining the preferred territories of the fire and rescue garrison when planning the placement of video monitoring systems]. *Sbornik trudov Konkursa nauchno-issledovatel'skikh robot*. Moscow: Assotsiatsiia razrabotchikov, izgotovitelei i postavshchikov sredstv individual'noi zashchity, 2023, pp. 6–9.

7. Burykin E. S. *Podkhody k priniatiu optimal'nogo upravlencheskogo resheniia: ratsional'nyi i intuitivnyi* [Approaches to making optimal management decisions: rational and intuitive]. *Vestnik Moskovskogo universiteta imeni S. Ju. Vitte, Seriya 1: Ekonomika i upravlenie*, 2022, vol. 2 (41), pp. 74–79

8. Aparin A. A. *Programma dlia podderzhki priniatiia reshenii pri planirovanii razmeshcheniia sistem videomonitoringa v pozharno-spatatel'nom garnizone* [Program for decision support when planning the placement of video monitoring systems in the fire and rescue garrison], *Svidetel'stvo Rospatenta o gosudarstvennoi registratsii programmy dlia EVM RU № 2022666928*, *zayavl. 06.09.2022, opubl. 12.09.2022.*

References

1. Novikov D. A. *Teoriia upravleniia organizatsionnymi sistemami* [Organizational Systems Management Theory]. Moscow: MPSI, 2005. 584 p.

Апарин Александр Александрович

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

E-mail: aparin.ivanovo-37@yandex.ru

Aparin Alexander Alexandrovich

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

Postgraduate student

E-mail: aparin.ivanovo-37@yandex.ru

Семенов Алексей Олегович

Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,
Российская Федерация, г. Иваново
начальник кафедры основ гражданской обороны и управления в ЧС

E-mail: ao-semenov@mail.ru

Semenov Alexey Olegovich

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

Head of the Department of Fundamentals of Civil Defense and Emergency Management

E-mail: ao-semenov@mail.ru

УДК 004.946

АЛГОРИТМ РЕАЛИЗАЦИИ СЦЕНАРИЕВ СИТУАЦИОННЫХ ПОЖАРНО-ТАКТИЧЕСКИХ ЗАДАЧ С ПРИМЕНЕНИЕМ МВТК-МЧС

И. В. БАГАЖКОВ, С. Н. НИКИШОВ, А. В. КУЗНЕЦОВ

Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,

Российская Федерация, г. Иваново

E-mail: big-99@mail.ru, mordov5988@mail.ru, a.kuznetsov9@yandex.ru

При подготовке пожарно-спасательных подразделений к практической работе по тушению пожаров и ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций большая роль отводится применению полученных знаний личного состава при выполнении поставленных боевых задач в существующей реальности. Изучение теоретических основ профильных дисциплин в системе профессионального образования в области пожаротушения логично связано с практическими занятиями, проводимыми преподавателем в различной форме. Добиться столь тесного взаимодействия возможно на примере проведения пожарно-тактических учений на конкретно взятых объектах или при использовании полигонов учебных центров. В процессе обучения пожарно-спасательному делу в Ивановской пожарно-спасательной академии был реализован проект создания уникального обучающего комплекса МВТК-МЧС при использовании виртуального тренажера для реализации сценариев конкретно взятых ситуационных пожарно-тактических задач на объектах различного назначения. Использование подобного комплекса позволяет адаптировать участника тушения пожара к практическим действиям без возможного травматизма и создать правильно подобранный алгоритм его действий при выполнении поставленной задачи в реальной обстановке. Использование VR-технологий позволяет достаточно объективно визуализировать существующую обстановку на пожаре и использовать полученные знания и умения при последующем участии в реальных пожарно-тактических учениях, проводимых на конкретно взятых объектах или пожарно-спасательных полигонах.

Ключевые слова: обучающий комплекс, тренажер, адаптация участника тушения пожара, подготовка к боевым действиям, оперативно-тактические действия на пожаре, виртуальная реальность

ALGORITHM FOR THE IMPLEMENTATION OF SCENARIOS OF SITUATIONAL FIRE TACTICAL TASKS WITH THE USE OF MVTK-EMERCOM

I. V. BAGAZHKOV, S. N. NIKISHOV, A. V. KUZNETSOV

Federal State Budget Educational Establishment of Higher Education

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

Russian Federation, Ivanovo

E-mail: big-99@mail.ru, mordov5988@mail.ru, a.kuznetsov9@yandex.ru

When preparing fire and rescue units for practical work on extinguishing fires and eliminating the consequences of emergency situations, a large role is given to the application of the acquired knowledge of personnel in the performance of assigned combat missions in the existing reality. On the face we have a practical relationship between practice and theory. To achieve such close interaction is possible only when conducting fire-tactical exercises at specific facilities or using the training grounds of training centers. In the process of training in fire and rescue business at the Ivanovo Fire and Rescue Academy, a project was implemented to create a unique training complex of the MVTK-Ministry of Emergency Situations using a virtual simulator to implement scenarios for specific situational fire and tactical tasks at various facilities. The use of such a complex makes it possible to adapt a fire extinguishing participant to practical actions without possible injuries and to create a correctly selected algorithm of his actions when performing a task in a real situation.

The use of VR technologies makes it possible to fairly objectively visualize the existing situation in a fire and use the acquired knowledge and skills with subsequent participation in real fire tactical exercises conducted at specific facilities or fire and rescue ranges.

Key words: training complex, simulator, adaptation of a fire extinguishing participant, preparation for combat operations, operational and tactical actions in a fire, virtual reality

Введение

Первая система виртуальной реальности была использована в игровых целях в середине XX века. С течением времени данная система набирала большую популярность, особенно в развлекательной области. Вскоре, сформировавшуюся методику начали применять и в учебных целях, например, пилоты перед тем, как получить допуск к полёту, обязаны пройти курс подготовки на виртуальном тренажёре. Виртуальные тренажеры нашли себе применение в различных структурах деятельности человека: применение виртуальных технологий для обучения шахтеров по добыче угля в VR-шахте [1]; VR-тренажер по обучению специалистов, работающих на высоте, предназначенный для обучения по профессиям, чьи трудовые обязанности напрямую связаны с фактором падения с высоты [1]. Что касается обучения действиям персонала при возникновении пожара на различных объектах, стоит отметить, что работа проводилась в различных отраслях: коллективом авторов [3] был разработан программный комплекс, позволяющий обучать личный состав локомотива и бригадных команд при возникновении пожара на локомотиве «VRAIL». Ведутся работы по созданию виртуальных тренажеров с целью обучения оперативно-тактическим действиям командного состава судов при возникновении пожаров на данных объектах. В работе [4] представлен анализ разработок виртуальных тренажеров в различных зарубежных странах по внедрению данных технологий в обучение действиям личного состава при возникновении пожаров на судах. Также стоит отметить, что данное направление активно развивается в подготовке дознавателей и пожарных инспекторов по изучению и профилактике пожаров. В работе [5] коллективом авторов рассмотрена возможность по применению виртуальных технологий с целью обучения и подготовки специалистов в области расследования пожаров.

Основной особенностью применения VR-технологий является полное погружение участника в определенную сферу деятельности, при этом максимально минимизировав влияние опасных факторов как для здоровья, так и для жизни в процессе обучения. В работах [6, 7, 8] зарубежными учеными было проведено исследование об эффективности применения VR-технологий в сравнении с традиционными методами обучения. Результаты исследования ясно показали, что применение данных технологий превосходит традиционное в восприятии и понимании преподаваемого материала, поскольку оно лучше удерживает внимание обучающихся.

В системе МЧС России так же была введена данная технология. Она представляла собой целый комплекс тренажеров на отработку навыков и умений пользования пожарной техникой, например: тренажер вождения пожарного автомобиля, пожарного катера, тренажер по отработке использования автомобильной лестницы и автомобильного коленчатого подъемника. Данный вид обучения на существующих тренажерах уже нашел свое применение в учебном процессе в Ивановской пожарно-спасательной академии. Но на этом развитие данной системы не остановилось. Вскоре, были разработаны тренажеры, напрямую связанные с использованием пожарного оборудования, первичных средств пожаротушения [9, 9, 11]. Разработанный тренажер МВТК-МЧС состоит из следующих элементов: очки дополнительной реальности, перчатки, жилет с датчиками и платформу, на которой размещается участник упражнения. Сама платформа была дополнена реалистичными эффектами, то есть все действия, отражаемые в виртуальной реальности, отражались и в реальной жизни.

Используя научно-производственную базу учебно-научного комплекса «Пожаротушение», были разработаны сценарии участников тушения пожаров при проведении боевых действий по тушению пожаров в зданиях. На сегодняшний момент происходит активное внедрение полученных разработок в учебный процесс Ивановской пожарно-спасательной академии ГПС МЧС России в области технической безопасности, пожарной безопасности и судебной экспертизы.

Основная часть

Согласно проведенному анализу статистических данных за 2017–2021 гг. [12] большее количество пожаров по основным видам объектов пожаров произошло на следующих объектах¹ (рис. 1):

- здания производственного назначения (в среднем 2328 пожаров в год);
- складские здания (в среднем 948 пожаров в год);
- здания, сооружения и помещения торговли (в среднем 2022 пожара в год);
- здания жилого назначения (в среднем 37058 пожара в год);
- административные здания (в среднем 650 пожаров в год).

¹ Пожары и пожарная безопасность в 2021 году: статист. сб. Балашиха: ФГБУ ВНИИПО МЧС России, 2022. 114 с.

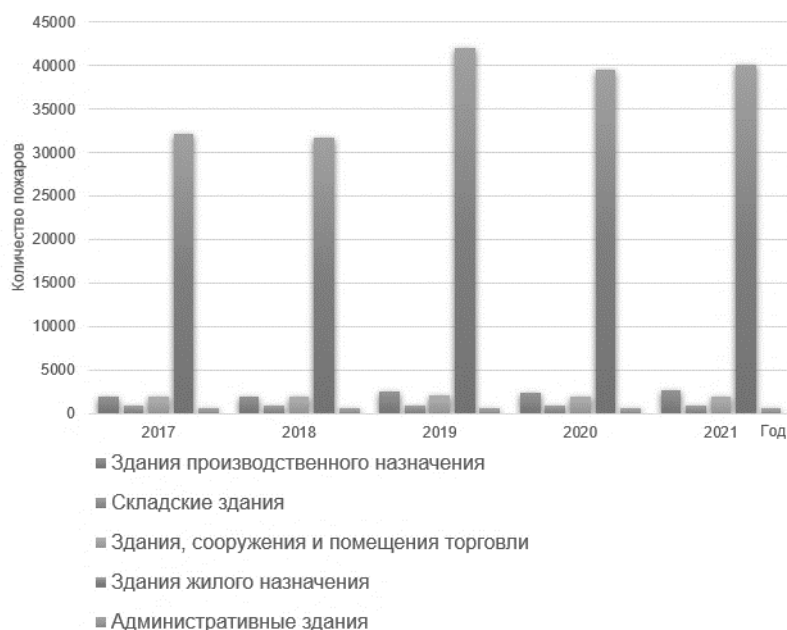


Рис. 1. Распределение числа пожаров за 2017-2021 гг. по основным видам объектов пожаров [12]

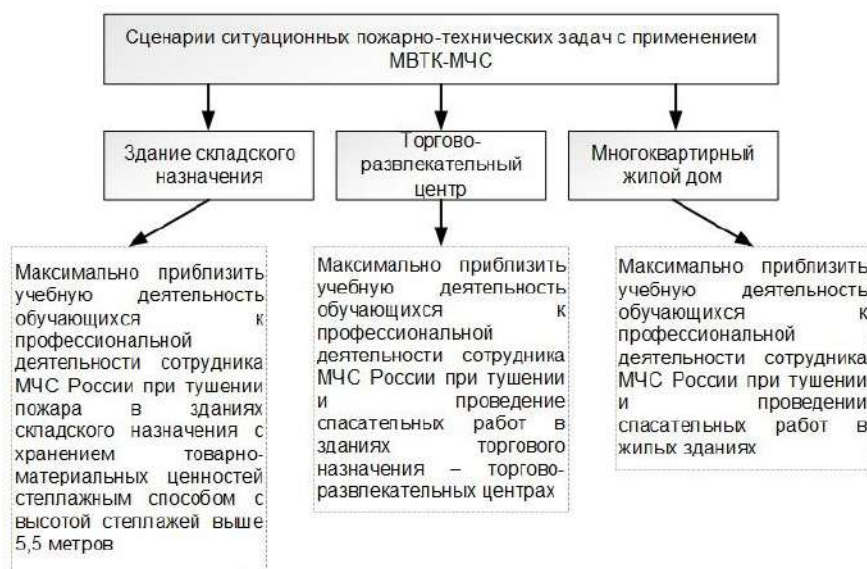


Рис. 2. Цели реализации сценариев ситуационных пожарно-тактических задач с применением MBTK-МЧС

Как видно из рис. 1, в большей степени выделяются пожары, произошедшие в зданиях жилого назначения, далее следуют здания производственного и складского назначения, и в третьей группе выделяются складские и административные здания. В связи с этим, были разработаны сценарии для участников тушения пожаров при проведении боевых действий (сценарии) по тушению пожаров в зданиях следующих классов функциональной пожарной опасности: многоквартирных жилых домов (Ф1.3); организаций торговли (Ф3.1) [13]; объектов с наличием складских помещений (Ф5.2) [14], для следующих целей (рис. 2).

Таким образом, **целью работы** является – разработка алгоритма реализации сценариев ситуационных пожарно-тактических задач с применением MBTK-МЧС для внедрения в учебно-воспитательный процесс высших учебных заведений МЧС России. Разработанные сценарии позволяют решать ситуационные задачи, встречающиеся при реализации оперативно-тактических действий на пожаре. Применение VR-технологий позволяет смоделировать ситуацию, наиболее приближенную к действительности, что в свою очередь подготавливает обучающегося к стрессоустойчивости от внешних воздействий на пожаре (паника, крики, посторонние звуки и т.д.). Также данные сценарии позволяют развить у обучаю-

щихся оперативное принятие правильных управленческих решений, оценив обстановку в кратчайшие сроки. Для преподавателя применение данных технологий позволяет моделировать различные ситуации на вышеприведенных объектах, к ним можно отнести: изменение погодных условий; изменение места первоначального возгорания; изменение количества и места нахождения пострадавших; добавление различных отвлекающих и деструктивных событий на пожаре; условия оперативной обстановки; характеристику привлекаемых сил и средств на тушение условного пожара. Разнообразие изменяемых условий преподавателем, позволяет максимально видоизменять оперативно-тактическую обстановку на пожаре, что в свою очередь, отражается на множестве реализуемых сценариев на заданном объекте.

При выполнении упражнений в классе ситуационного моделирования действий должностных лиц по тушению пожара на объектах различного функционального назначения, для обучающихся имеется возможность отработки следующих штатных должностных лиц на пожаре²: начальник караула, командир отделения, пожарный, а также нештатных должностных лиц на месте пожара: руководитель тушения пожара (РТП); командир звена ГДЗС; газодымозащитник; ствольщик; связной. Соответственно, на этапах прохождения сценариев, обучающиеся отрабатывают обязанности и полномочия, практически всех участников боевых действий по тушению пожара.

В процессе выполнения боевых действий по тушению пожара с применением виртуальных технологий, обучающиеся сталкиваются с тремя видами оперативно-тактических действий [15]:

- оперативно-тактические действия, проводимые до прибытия к месту пожара;
- оперативно-тактические действия, проводимые на месте пожара;
- оперативно-тактические действия, проводимые после тушения пожара.

Разработанные сценарии ситуационных пожарно-тактических задач с применением МВТК-МЧС позволяют реализовать в себе каждый из этапов оперативно-тактических действий. Алгоритм реализации сценариев ситуационных пожарно-тактических задач с применением МВТК-МЧС представлен на рис 3.

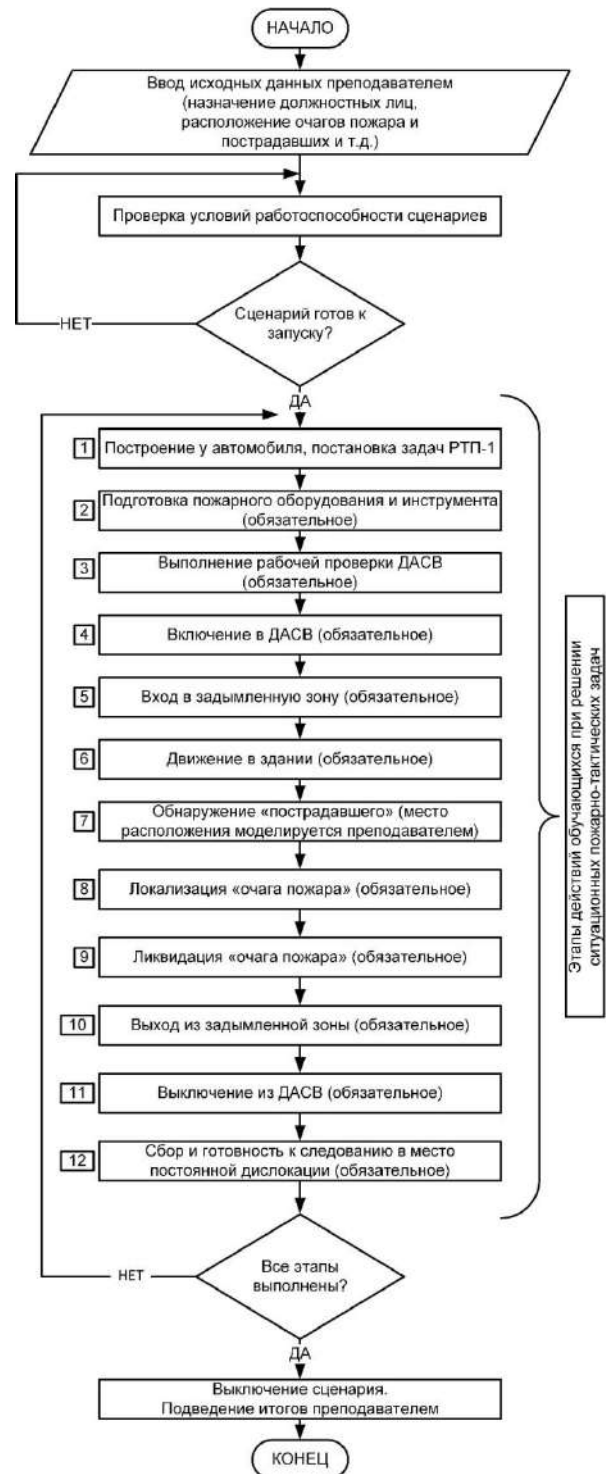


Рис. 3. Алгоритм реализации сценариев ситуационных пожарно-тактических задач с применением МВТК-МЧС

² Приказ МЧС России от 16.10.2017 г. № 444 «Об утверждении Боевого устава подразделений пожарной охраны, определяющего порядок организации тушения пожаров и проведения аварийно-спасательных работ»

Алгоритм представляет собой последовательность действий преподавателя и обучающихся, в процессе решения ситуационных пожарно-тактических задач:

Этап 1. Преподаватель, при подготовке к запуску сценария ситуационных пожарно-тактических задач с применением МВТК-МЧС, задает количество пострадавших и места их расположения. Задаются погодные условия, а именно: скорость ветра, время суток, время года, осадки (дождь, снег). После этого преподаватель задает условия оперативной обстановки на момент прибытия пожарных подразделений:

- параметры внешних признаков и обстановки на месте пожара;
- основные и отвлекающие деструктивные события;
- звуковые отвлекающие эффекты;
- характеристика привлекаемых сил и средств на тушение условного пожара.

Этап 2. После того, как обучающиеся надели все необходимое оборудование и снаряжение (рис. 4), запускается сценарий и обучающиеся попадают в виртуальную среду запланированного сценария.



Рис. 4. Процесс прохождения обучающимися сценариев ситуационных пожарно-тактических задач с применением МВТК-МЧС

При включении в виртуальную реальность, должностные лица проводят проверку наличия и подготовки пожарно-технического оборудования и инструмента и отдают соответствующие указания для личного состава. Каждый назначенный обучающийся на штатную должность на месте пожара проверяет свое оборудование и инструмент, согласно табелю боевого расчета отделения караула на

пожарном автомобиле.³ После проведения подготовки пожарного инструмента и оборудования, осуществляется доклад начальнику караула (командиру отделения) о готовности.

Этап 3. После получения команды от руководителя тушения пожара (РТП), о необходимости создания звеньев ГДЗС и осуществления разведки внутри здания, командир звена ГДЗС проводит инструктаж для газодымозащитников своего звена. При проведении инструктажа командир звена ГДЗС доводит до личного состава поставленную перед звеном задачу, вкратце доводит предполагаемый путь маршрута звена, обозначает места возможной опасности на пути маршрута и напоминает соблюдение требований правил охраны труда. После доведения всей необходимой информации, командир звена дает команду на осуществление рабочей проверки ДАСВ.

Этап 4. Следующим этапом осуществляется включение звена ГДЗС в дыхательные аппараты. После включения в дыхательные аппараты, командир звена передает данные о давлении воздуха в баллоне каждого газодымозащитника на пост безопасности.

Этап 5. Перед тем как войти в задымленную зону, постовой на посту безопасности уточняет с командиром звена ГДЗС способы и условные сигналы связи его со звеном. На основании полученных данных постовой на посту безопасности ГДЗС рассчитывает давление кислорода (воздуха) в баллоне СИЗОД, при котором звену ГДЗС необходимо возвращаться к посту безопасности, примерное время работы звена и ожидаемое время его возвращения. Полученные данные постовой на посту безопасности ГДЗС сообщает командиру звена и заносит в журнал учета работающих звеньев ГДЗС.

Этап 6. В зависимости от поставленных задач от РТП, звено ГДЗС передвигается кратчайшим путем. Передвижение в задымленной зоне осуществляется вдоль капитальных стен, либо вдоль стен с оконными проемами. Газодымозащитникам необходимо осуществлять передвижение нераздельно: постоянно поддерживать связь друг с другом (тактильно, визуально, акустически), быть предельно осторожными, периодически осуществлять контроль показаний манометра и докладывать на пост безопасности и минимальном давлении в звене ГДЗС.

³ Приказ МЧС России от 20 октября 2017 г. № 452 «Об утверждении Устава подразделений пожарной охраны»

Этап 7. Ввиду того, что на рассматриваемых объектах (жилые многоквартирные дома, торгово-развлекательные центры, здания складского назначения) в большинстве случаев находится множество людей, что при пожаре на данных объектах, приводит к большому количеству пострадавших. Согласно статье 35⁴ при наличии угрозы людям, силы и средства пожарных подразделений направляются на их спасение. Соответственно, при обнаружении пострадавших в процессе разведки внутри зданий, звенья ГДЗС принимают скорейшие действия по их спасению из зоны, где им угрожают опасные факторы пожара в безопасную зону. Обнаружив пострадавшего, командир звена ГДЗС незамедлительно докладывает об этом РТП. Личный состав ГДЗС надевает на пострадавшего спасательное устройство капюшонного типа с постоянной подачей воздуха. Далее звено ГДЗС выводит (выносит) пострадавшего в безопасную зону, оказывает (при необходимости) первую помощь и передает сотрудникам скорой медицинской помощи. Количество пострадавших на объекте может меняться, в зависимости от условий исходных данных, установленных преподавателем.

Этап 8. В зависимости от имеющихся сил и средств на пожаре и оценив обстановку на пожаре РТП принимает решение о реализации оперативно-тактических действий одним из способов:

- последовательная реализация оперативно-тактических действий на пожаре;
- параллельная реализация оперативно-тактических действий на пожаре.

Последовательная реализация оперативно-тактических действий подразумевает под собой поэтапное выполнение боевых действий на пожаре. Данный способ чаще всего применяется при недостатке количества сил и средств на пожаре, зачастую на начальных этапах проведения боевых действий по тушению пожара. Параллельная реализация подразумевает выполнение боевых действий в разных направлениях (спасение людей; вскрытие и разборка конструкций; обеспечение бесперебойной подачи огнетушащих веществ; локализация открытого горения).

При реализации сценариев ситуационных пожарно-тактических задач с применением МВТК-МЧС руководителю тушения пожара необходимо, проведя разведку, оценить обстановку и выбрать один из способов реализа-

ции оперативно-тактических действий для принятия правильных управленческих решений [16, 17, 18]. При достаточном количестве сил и средств, РТП направляет звенья ГДЗС и на спасение людей и на тушение пожара. Звено ГДЗС, достигнув очага пожара, осуществляет все необходимые меры по его скорейшей локализации. Для локализации очага применяются различные огнетушащие вещества: вода из ручного пожарного ствола в виде компактной, либо распыленной струй; пена низкой, либо средней кратности; огнетушители.

Этап 9. Согласно статье 118⁵ пожар считается ликвидированным, когда выполнены два условия: горение прекращено и исключены условия для его самопроизвольного возгорания. Соответственно, от обучающихся требуется устранение факельного горения пламени путем подачи в очаг пожара огнетушащих веществ, а также проведение разведки на наличие тлеющих материалов, мест возможного повторного возгорания и их ликвидация.

Этап 10. После того, как обучающимися выполнены все условия ликвидации, и на объекте все пострадавшие спасены, соответственно основная боевая задача выполнена. Звенья ГДЗС докладывают на пост безопасности о том, что выходят на свежий воздух.

Этап 11. После выхода из зоны задымления, командир звена ГДЗС дает команду для звена на выключение из дыхательных аппаратов и газодымозащитники приступают к выключению из СИЗОД.

Этап 12. Завершающим этапом оперативно-тактических действий при тушении пожара является сбор пожарного инструмента и оборудования. Личный состав, принимавший участие в тушении пожара, собирает все необходимое оборудование и закрепляет его в пожарном автомобиле. После сбора всего оборудования и инструмента, должностные лица проверяют наличие личного состава и докладывают РТП о готовности к завершению упражнения. После доклада РТП преподавателю о готовности к завершению упражнения, преподаватель обозначает невыполненные этапы алгоритма, если таковых нет, то выключает сценарий ситуационных пожарно-тактических задач с применением МВТК-МЧС.

В завершающей части занятия подводятся итоги прохождения сценариев. Должностные лица выступают с докладом о выполненных и невыполненных задачах, обозначаются как положительные, так и отрицательные моменты в процессе прохождения всех этапов сценария.

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

⁵ Там же

Заключение

Подводя итог, можно констатировать, что при поиске новых подходов к обучению и адаптации обучающихся практике пожарного дела стоит обратить внимание на применение современных VR технологий. Полученные данные о наличии и применении профессиональных знаний и умений участников тушения пожара в практике пожаротушения говорят об их нарастающем значении по мере применения. Оценка эффективности использования такого наукоемкого и многофункционального оборудования, как обучающий комплекс МВТК-МЧС, была произведена на курсах 4-го и 5-го годов обучения по специальности 20.05.01 «Пожарная безопасность», курсах 4-го года обучения по специальности 20.03.01 «Техносферная безопасность», курсах 4-го года обучения по специальности 40.05.03 «Судебная экспертиза» в Ивановской пожарно-спасательной академии. Применяемая методика позволяет значительно оптимизировать

подготовку обучающихся путем введения в виртуальную реальность уже произошедших ситуаций на пожаре и многократной отработке соответствующих действий при тушении пожара и ликвидации последствий ЧС. Использование деловых игр при обучении участников тушения пожара дают возможность многогранной отработки каждой роли в рассматриваемом сценарии. Взвешенное и разумное использование VR-технологий в обучении способствует повышению результативности при формировании профессионально значимых умений и навыков обучающихся; более плавному переходу от теоретических основ изучаемого материала к практике в пожаротушении; развивает познавательный интерес; осуществляет связь прикладной игры с существующей реальностью действий участника тушения пожара при защите, тушении, спасении или ликвидации последствий ЧС на конкретно взятом объекте.

Список литературы

1. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ 2020617327 Российская Федерация. VR шахта – Тренажер в виртуальной реальности / С. В. Петухов, А. А. Акимов. № 2020614046; заявл. 28.04.2020; опублик. 03.07.2020. Бюл. № 7. EDN XYOOPB.

2. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ 2021611057 Российская Федерация. Тренажер «Работа на высоте» с использованием технологий виртуальной реальности / С. П. Ворошилов, Г. Е. Седельников, А. Ю. Есипенко [и др.]. № 2020668051; заявл. 28.12.2020; опублик. 21.01.2021. Бюл. № 2. EDN SDLSLG.

3. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ 2022669382 Российская Федерация. Тренажер в среде виртуальной реальности по отработке действий локомотивными бригадами и ремонтным персоналом при возникновении пожара на локомотиве «VRail» / В. В. Заболотный, О. О. Мухин, Э. Г. Бородавицин. № 2022668362; заявл. 06.10.2022; опублик. 19.10.2022. Бюл. № 10. EDN AXJFOE.

4. Кипер А. В., Станкевич Т. С. Анализ мирового и отечественного рынка тренажеров и симуляторов в области подготовки командного состава судов по борьбе с пожаром // Известия КГТУ. 2014. № 33. С. 168–173. EDN SDYFRR.

5. Гапоненко М. В. Повышение эффективности подготовки обучающихся к профессиональной деятельности в области расследования пожаров с использованием технологий виртуальной реальности // Школа молодых учёных и специалистов МЧС России: материалы юбилейного X форума. СПб: Санкт-Петербургский университет Государственной противопожарной службы Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий, 2020. С. 46–48. EDN YNTUCV.

6. Pedro A., Le Q. T., Park C. S. Framework for integrating safety into construction methods education through interactive virtual reality. Journal of professional issues in engineering education and practice, 2016, vol. 142, issue 2, pp. 04015011

7. Sacks R., Perlman A., Barak R. Construction safety training using immersive virtual reality. Construction Management and Economics, 2013, vol. 31, issue 9, pp. 1005–1017.

8. Le Q. T., Pedro A., Park C. S. A social virtual reality based construction safety education system for experiential learning. Journal of Intelligent & Robotic Systems, 2015, vol. 79, pp. 487–506.

9. Семенов А. Д., Ермилов А. В. Обоснование выбора тренажеров для подготовки курсантов к профессиональным ситуациям с повышенным уровнем риска // Актуальные вопросы пожаротушения: сборник материалов II Всероссийского круглого стола. Иваново: Ива-

новская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, 2022. С. 193–196. EDN BZETSB.

10. Концепция разработки компьютерных тренажеров по организации пожаротушения в городах / Д. В. Тараканов, А. В. Кузнецов, И. Ф. Саттаров [и др.] // Пожарная и аварийная безопасность: сборник материалов XI Международной научно-практической конференции, посвященной Году пожарной охраны. Иваново: Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, 2016. С. 326–327. EDN YQCZVL.

11. Ермилов А. В. Особенности реализации виртуальной практико-ориентированной среды в профессиональной подготовке курсантов МЧС России // Пожарная и аварийная безопасность: сборник материалов XVII Международной научно-практической конференции, посвященной 90-й годовщине образования гражданской обороны. Иваново: Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, 2022. С. 592–594. EDN MNBIFL.

12. Сравнительный анализ показателей пожарной статистики в Российской Федерации, США и Франции / М. Г. Есина, О. В. Хонгорова, И. А. Кузнецов [и др.] // Пожарная и аварийная безопасность. 2019. № 3 (14). С. 56–62. EDN YTOITJ.

13. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ 2022668461 Российская Федерация. Виртуальный сценарий работы с пожарной техникой при приеме дежурства (по номерам боевого расчета) / С. Н. Никишов, А. В. Ермилов, А. В. Кузнецов [и др.]. № 2022667801; заявл. 29.09.2022; опубл. 06.10.2022; Бюл. № 10. EDN IFJIZQ.

14. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ 2022668852 Российская Федерация. Виртуальный сценарий тушения пожара в зданиях складского назначения с хранением товарно-материальных ценностей стеллажным способом с высотой стеллажей выше 5,5 метров / С. Н. Никишов, А. В. Ермилов, А. В. Кузнецов [и др.]. № 2022667772; заявл. 29.09.2022; опубл. 12.10.2022; Бюл. № 10. EDN LHHCJJ.

15. Фроленков С. В., Теребнев В. В. Современное состояние вопроса управления оперативно-тактическими действиями пожарных подразделений и возможные пути его совершенствования // Современные проблемы гражданской защиты. 2019. № 4 (33). С. 108–112. EDN VGGZNO.

16. Кузнецов А. В., Тараканов Д. В. Система поддержки принятия решений при планировании мониторинга крупных пожаров // Надежность и долговечность машин и механизмов: сборник материалов XIII Всероссийской научно-практической конференции. Ива-

ново: Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, 2022. С. 139–142. EDN EQTZVU.

17. Кузнецов А. В., Бутузов С. Ю., Тараканов Д. В. Алгоритм оценки важности задач организации мониторинга крупного пожара // Современные проблемы гражданской защиты. 2022. № 2 (43). С. 27–33. EDN KIOOMA.

18. Оптимизация управленческих решений при распределении обязанностей боевого расчета / И. В. Багажков, П. Н. Коноваленко, С. Н. Никишов [и др.] // Современные проблемы гражданской защиты. 2022. № 4 (45). С. 5–12. EDN LRLWCW.

References

1. Petukhov S. V., Akimov A. A. Svidetel'stvo o gosudarstvennoy registratsii programmy dlya EVM 2020617327 Rossiyskaya Federatsiya. VR shakhta – Trenazher v virtual'noy real'nosti [VR mine – Virtual reality simulator], № 2020614046, byulleten 7. EDN XYOOPB.

2. S. P. Voroshilov, G. Ye. Sedel'nikov, A. Yu. Yesipenko [et al.]. Svidetel'stvo o gosudarstvennoy registratsii programmy dlya EVM 2021611057 Rossiyskaya Federatsiya. "Trenazher "Rabota na vysote" s ispol'zovaniyem tekhnologiy virtual'noy real'nosti" ["Work at height" simulator using virtual reality technologies]. № 2020668051, byulleten 2. EDN SDLSLG.

3. Zabolotnyy V. V., Mukhin O. O., Borodavitsin E. G. Svidetel'stvo o gosudarstvennoy registratsii programmy dlya EVM 2022669382 Rossiyskaya Federatsiya. Trenazher v srede virtual'noy real'nosti po otrabotke deystviy lokomotivnymi brigadami i remontnym personalom pri vznikovenii pozhara na lokomotive "VRail" [Simulator in a virtual reality environment for practicing actions by locomotive crews and repair personnel in the event of a fire on a locomotive "VRail"]. № 2022668362, byulleten 10. EDN AXJFOE.

4. Kiper A. V., Stankevich T. S. Analiz mirovogo i otechestvennogo rynka trenazherov i simulyatorov v oblasti podgotovki komandnogo sostava sudov po bor'be s pozharom [Analysis of the global and domestic market for simulators and simulators in the field of training fire-fighting ship officers]. *Izvestiya KGTU*, 2014, issue 33, pp. 168–173. EDN SDYFRR.

5. Gaponenko M. V. Povysheniye effektivnosti podgotovki obuchayushchikhsya k professional'noy deyatelnosti v oblasti rassledovaniya pozharov s ispol'zovaniyem tekhnologiy virtual'noy real'nosti [Increasing the efficiency of preparing students for professional activities in the field of fire investigation using virtual reality technologies]. *Shkola molodykh uchonykh i spetsialistov MCHS*

Rossii: materialy yubileynogo KH foruma. SPb: Sankt-Peterburgskiy universitet Gosudarstvennoy protivopozharnoy sluzhby Ministerstva Rossiyskoy Federatsii po delam grazhdanskoy oborony, chrezvychaynym situatsiyam i likvidatsii posledstviy stikhiyных bedstviy, 2020. pp. 46–48. EDN YNTUCV.

6. Pedro A., Le Q. T., Park C. S. Framework for integrating safety into construction methods education through interactive virtual reality. Journal of professional issues in engineering education and practice, 2016, vol. 142, issue 2, pp. 04015011

7. Sacks R., Perlman A., Barak R. Construction safety training using immersive virtual reality. Construction Management and Economics, 2013, vol. 31, issue 9, pp. 1005–1017.

8. Le Q. T., Pedro A., Park C. S. A social virtual reality based construction safety education system for experiential learning. Journal of Intelligent & Robotic Systems, 2015, vol. 79, pp. 487–506.

9. Semenov A. D., Yermilov A. V. Obosnovaniye vybora trenazherov dlya podgotovki kursantov k professional'nyim situatsiyam s povyshennym urovnem riska [Justification for the choice of simulators for preparing cadets for professional situations with an increased level of risk]. Aktual'nyye voprosy pozharotusheniya: sbornik materialov II Vserossiyskogo kruglogo stola. Ivanovo: Ivanovskaya pozharnospasatel'naya akademiya GPS MCHS Rossii, 2022. pp. 193–196. EDN BZETSB.

10. Kontseptsiya razrabotki komp'yuternykh trenazherov po organizatsii pozharotusheniya v gorodakh [Concept for the development of computer simulators for organizing fire extinguishing in cities]. D. V. Tarakanov, A. V. Kuznetsov, I. F. Sattarov [et al.]. Pozharnaya i avariynaya bezopasnost': sbornik materialov XI Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, posvyashchennoy Godu pozharnoy okhrany. Ivanovo: Ivanovskaya pozharnospasatel'naya akademiya GPS MCHS Rossii, 2016. pp. 326–327. EDN YQCZVL.

11. Yermilov A. V. Osobennosti realizatsii virtual'noy praktiko-orientirovannoy sredy v professional'noy podgotovke kursantov MCHS Rossii [Features of the implementation of a virtual practice-oriented environment in the professional training of cadets of the Ministry of Emergency Situations of Russia]. Pozharnaya i avariynaya bezopasnost': sbornik materialov XVII Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, posvyashchennoy 90 y godovshchine obrazovaniya grazhdanskoy oborony. Ivanovo: Ivanovskaya pozharnospasatel'naya akademiya GPS MCHS Rossii, 2022. pp. 592–594. EDN MHBIFL.

12. Sravnitel'nyy analiz pokazateley pozharnoy statistiki v Rossiyskoy Federatsii, SSHA i Frantsii [Comparative analysis of fire statistics in the Russian Federation, the USA and France]. M. G. Yesina, O. V. Khongorova, I. A. Kuznetsov [et al.]. Pozharnaya i avariynaya bezopasnost', 2019, vol. 3 (14), pp. 56–62. EDN YTOITJ.

13. S. N. Nikishov, A. V. Yermilov, A. V. Kuznetsov [et al.]. Svidetel'stvo o gosudarstvennoy registratsii programmy dlya EVM 2022668461 Rossiyskaya Federatsiya. Virtual'nyy stseneriy raboty s pozharnoy tekhnikoy pri priyeme dezhurstva (po nomeram boyevogo rascheta) [Virtual scenario of working with fire-fighting equipment when on duty (according to combat crew numbers)], № 2022667801, byulleten 10. EDN IFJIZQ.

14. S. N. Nikishov, A. V. Yermilov, A. V. Kuznetsov [et al.]. Svidetel'stvo o gosudarstvennoy registratsii programmy dlya EVM 2022668852 Rossiyskaya Federatsiya. Virtual'nyy stseneriy tusheniya pozhara v zdaniyakh skladskogo naznacheniya s khraneniem tovarno-material'nykh tsennostey stellazhnym sposobom s vysotoy stellazhey vyshе 5,5 metrov [Virtual scenario of fire extinguishing in warehouse buildings with storage of inventory items using racking method with rack height above 5.5 meters], № 2022667772, byulleten 10. EDN LHCJ.

15. Frolenkov S. V., Terebnev V. V. Sovremennoye sostoyaniye voprosa upravleniya operativno-takticheskimi deystviyami pozharnykh podrazdeleniy i vozmozhnyye puti yego sovershenstvovaniya [The current state of the issue of managing operational-tactical actions of fire departments and possible ways to improve it]. Sovremennyye problemy grazhdanskoy zashchity, 2019, vol. 4 (33), pp. 108–112. EDN VGGZNO.

16. Kuznetsov A. V., Tarakanov D. V. Sistema podderzhki prinyatiya resheniy pri planirovani monitoringa krupnykh pozharov [Decision support system for planning monitoring of large fires]. Nadezhnost' i dolgovechnost' mashin i mekhanizmov: sbornik materialov XIII Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. Ivanovo: Ivanovskaya pozharnospasatel'naya akademiya GPS MCHS Rossii, 2022. pp. 139–142. EDN EQTZVU.

17. Kuznetsov A. V., Butuzov S. Yu., Tarakanov D. V. Algoritm otsenki vazhnosti zadach organizatsii monitoringa krupnogo pozhara [Algorithm for assessing the importance of tasks for organizing monitoring of a large fire]. Sovremennyye problemy grazhdanskoy zashchity, 2022, vol. 2 (43), pp. 27–33. EDN KIOOMA.

18.Optimizatsiya upravlencheskikh resheniy pri raspredelenii obyazannostey boyevogo rascheta [Optimization of management decisions when distributing combat crew responsibilities] /

I. V. Bagazhkov, P. N. Konovalenko, S. N. Nikishov [et al.]. *Sovremennyye problemy grazhdanskoy zashchity*, 2022, vol. 4 (45), pp. 5–12. EDN LRLWCW.

Багажков Игорь Владимирович

Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,
Российская Федерация, г. Иваново
кандидат химических наук, доцент
E-mail: big-99@mail.ru

Bagazhkov Igor Vladimirovich

Federal State Budget Educational Establishment of Higher Education «Ivanovo Fire Rescue Academy of State Firefighting Service of Ministry of Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters»,
Russian Federation, Ivanovo
candidate of chemical sciences, associate professor
E-mail: big-99@mail.ru

Никишов Сергей Николаевич

Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,
Российская Федерация, г. Иваново
кандидат технических наук, начальник кафедры
E-mail: mordov5988@mail.ru

Nikishov Sergey Nikolaevich

Federal State Budget Educational Establishment of Higher Education «Ivanovo Fire Rescue Academy of State Firefighting Service of Ministry of Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters»,
Russian Federation, Ivanovo
candidate of technical sciences, head of department
E-mail: mordov5988@mail.ru

Кузнецов Александр Валерьевич

Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,
Российская Федерация, г. Иваново
преподаватель
E-mail: a.kuznetsov9@yandex.ru

Kuznetsov Alexander Valerievich

Federal State Budget Educational Establishment of Higher Education «Ivanovo Fire Rescue Academy of State Firefighting Service of Ministry of Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters»,
Russian Federation, Ivanovo
lecturer
E-mail: a.kuznetsov9@yandex.ru

УДК 353.9

МАРКЕТИНГОВЫЙ ПОДХОД К ФОРМИРОВАНИЮ ТЕРРИТОРИАЛЬНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Н. В. БОРОВКОВА¹, М. В. МЕДВЕДЕВА²

¹ Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,
Российская Федерация, г. Иваново

² ФГБОУ ВО Ивановский государственный политехнический университет,
Российская Федерация, г. Иваново

E-mail: bnv7777@yandex.ru, mmv_777@mail.ru

Настоящая статья отражает результаты актуализации авторами маркетингового подхода применительно к формированию территориальной безопасности. В качестве объекта изучения выступают территории, муниципальные образования, субъекты РФ. Актуальность данного исследования имеет как теоретический, так и прикладной характер.

Авторами изучены основные теоретические положения концепции территориальной безопасности, на основе систематизации теоретического и практического материала выделены основные преимущества использования маркетингового подхода для решения проблем в сфере территориальной безопасности.

Методологический аспект анализа территориальной безопасности, по мнению авторов, может быть расширен на основе использования не только социального, экономического, информационного и технического подходов, но и применения маркетингового подхода. Учитывая значимость проведения исследований в области оценки и формирования территориальной безопасности, авторы предлагают сосредоточить внимание на возможности расширения инструментария сбора информации, анализа и принятия стратегических решений в области территориальной безопасности на основе использования маркетинговых методов и моделей, позволяющих повысить уровень безопасности и жизни населения территорий, обеспечить привлекательность территорий для населения, туристов, предпринимателей и потенциальных инвесторов.

С учетом вышесказанного результаты проведенного научного исследования имеют важное значение для обеспечения устойчивой и эффективной организации процесса мониторинга и обеспечения территориальной безопасности.

Ключевые слова: маркетинговый подход, инструменты маркетинга, территория, территориальная безопасность, стратегия развития территории, качество жизни населения.

MARKETING APPROACH TO THE FORMATION OF TERRITORIAL SECURITY

N. V. BOROVKOVA¹, M. V. MEDVEDEVA²

¹ Federal State Budget Educational Establishment of Higher Education
«Ivanovo Fire Rescue Academy of State Firefighting Service of Ministry of Russian Federation
for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters»,
Russian Federation, Ivanovo

² Ivanovo State Polytechnic University,
Russian Federation, Ivanovo

E-mail: bnv7777@yandex.ru, mmv_777@mail.ru

This article reflects the results of the authors' actualization of the marketing approach in relation to the formation of the level of territorial security. Territories, municipalities, subjects of the Russian Federation act as the object of study. The relevance of this research is both theoretical and applied.

The authors have studied the main theoretical provisions of the concept of territorial security, on the basis of systematization of theoretical and practical material, the main advantages of using a marketing approach to solve problems in the field of territorial security are highlighted.

The methodological aspect of the analysis of territorial security, according to the authors, can be expanded by using not only social, economic, informational and technical approaches, but also the application of a marketing approach. Taking into account the importance of conducting research in the field of assessing

and formation territorial security, the authors propose to focus on the possibility of expanding the tools for collecting information, analyzing and making strategic decisions in the field of territorial security based on the use of marketing methods and models that can significantly increase the level of security and life of the population of territories, ensure the attractiveness of territories for the population, tourists, entrepreneurs and potential investors.

Taking into account the above, the results of the conducted scientific research are important for ensuring a stable and effective organization of the monitoring process and ensuring territorial security.

Key words: marketing approach, marketing tools, territory, territorial security, territory development strategy, quality of life of the population.

Актуальность исследования. В настоящее время из-за постоянно усложняющихся и изменяющихся условий политического, социально-экономического, технологического и информационного развития общества система анализа и обеспечения территориальной безопасности должна обеспечивать постоянный мониторинг и прогнозирование данных.

Повышение эффективности безопасности территорий, на наш взгляд, необходимо связать с использованием актуальных и обоснованных инструментов мониторинга и формирования территориальной безопасности. Маркетинговый подход должен занимать в обеспечении территориальной безопасности особое место, способствуя поиску информации и принятию важных стратегических решений, формированию положительного имиджа территории и росту уровня ее привлекательности для различных целевых групп.

Цель данного исследования заключается в актуализации использования маркетингового подхода к анализу и формированию безопасности территории, повышению ее привлекательности за счет формировании комплекса индикаторов для выявления существующих тенденций развития с учетом маркетингового подхода (на примере Ивановской области).

В основу данного исследования положены такие элементы методологии научного познания, как системный и маркетинговый подходы, социологические и статистические методы исследования, а также методы формальной логики (анализ и синтез, классификация, сравнение и обобщение), методы и модели маркетингового, конкурентного и стратегического анализа.

В общем понимании под территориальной безопасностью понимают уровень защищенности какой-либо территории (муниципалитета, региона, государства) от различных внутренних и внешних угроз [1].

Систематизация компонентов территориальной безопасности позволяет выделить следующие составляющие: правовая (например, соблюдение и защита прав граждан и ор-

ганизаций на данной территории), экономическая (например, наличие ресурсов и уровень экономического развития территории), военная (например, безопасность границ, численность способных защищать территорию лиц, их оснащенность и профессиональная подготовка, защита жизни и имущества), технологическая (например, наличие передовых технологий и уровень технологического развития, способность предотвращать техногенные катастрофы и своевременно их устранять), информационная (например, уровень информационной безопасности и наличие эффективной защиты территории от кибератак) и экологическая (например, состояние и уровень охраны окружающей среды, способность предотвращать экологические катастрофы и своевременно их устранять).

При этом необходимо обеспечить наличие государственных институтов, подготовить кадры, сформулировать нормативно-правовые основы обеспечения безопасностью территории [2].

В литературе проблематика маркетинга в формировании безопасности территорий проработана слабо. Мы считаем, что внедрение инструментов маркетинга в анализ и обеспечение территориальной безопасности будет служить точкой роста данной территории. Маркетинговый инструментарий можно использовать для сбора информации о территории, о ее сильных и слабых сторонах, о ее целевой аудитории для разработки в дальнейшем эффективной стратегии развития территории. Внутренняя среда территории включает в себя органы управления, ресурсы и инфраструктуру. Внешняя среда включает в себя нормативные акты, потребителей и конкурентов региона, инвесторов, туристов и другие заинтересованные стороны.

Подготовка и реализация стратегии развития, на наш взгляд, будет способствовать и повышению уровня территориальной безопасности, и увеличению ее привлекательности для граждан, туристов, предпринимателей и инвесторов, способствуя в дальнейшем ро-

сту уровня социального, экономического, технического развития территории.

Для выполнения этих задач подходит территориальный маркетинг, который чаще всего рассматривается как маркетинговая деятельность, направленная на формирование имиджа территории, на повышение ее привлекательности, на развитие ее инфраструктуры и создание условий для повышения качества жизни и привлечения на территорию различных целевых групп [3].

Заметим также, что частью маркетинга территорий является «зеленый» маркетинг, который тесно связан с экологической безопасностью [4] и может помочь территориям стать социально ответственными и повысить их деловую репутацию.

Таким образом, маркетинговый подход может помочь в обеспечении части составляющих территориальной безопасности, в частности, в поиске и обобщении информации, в формулировании стратегии развития территории, в улучшении экологии территории, ее имиджа, повышении качества жизни и безопасности населения.

Для внедрения данного подхода на практике необходимо использовать такие инструменты территориального маркетинга (по аналогии с подходом 4-P) как [5]: цена, территориальный продукт, локализация и продвижение территории, которую через сайты госорганов, публикации в СМИ, соцсети необходимо представить как безопасное место для жизни, работы и туризма за счет удобного местоположения, наличия стабильной экономики, интенсивной культурной жизни и эффективной системы защиты населения.

Для поиска информации мы предлагаем применять опросы населения (можно через соцсети), приемы digital-маркетинга, изучать статданные, анализировать обращения граждан и предпринимателей в СМИ или непосредственно в госорганы.

Анализ информации и генерирование вариантов стратегического развития позволят осуществить PEST-анализ, SWOT-анализ территории, матрица И. Ансоффа, а оценить место территориального продукта – ABC-анализ и матрица БКГ. Эффективными, на наш взгляд, инструментами будут анализ деловой среды и оценка конкурентоспособности территории на основе модели МакКинси.

Для продвижения территории и улучшения ее имиджа можно использовать различные инструменты маркетинга, как классические, так и инновационные, такие как событийный маркетинг, рекламу мест отдыха, PR, бенчмаркинг, брендинг, моделирование развития событий и другие [6].

Кроме актуализации применения ряда маркетинговых инструментов для повышения уровня безопасности территории, мы предлагаем авторский вариант формирования списка индикаторов анализа территориального развития и безопасности с учетом применения маркетингового подхода:

1. Блок индикаторов социально-экономического развития территории (ресурсный блок):

1.1. Численность населения;

1.2. ВРП на душу населения;

1.3. Среднедушевые денежные доходы населения;

1.4. Численность населения с денежными доходами ниже прожиточного минимума;

1.5. Число предприятий и организаций

1.6. Уровень безработицы;

1.7. Стоимость основных фондов.

2. Блок индикаторов состояния инфраструктуры территории:

2.1. Ввод в действие жилых домов;

2.2. Плотность железнодорожных путей;

2.3. Плотность автомобильных дорог общего пользования с твердым покрытием;

2.4. Оборот розничной торговли на душу населения.

2.5. Индекс потребительских цен;

2.6. Коллективные средства размещения.

3. Блок индикаторов комплексной территориальной безопасности:

3.1. Выбросы загрязняющих веществ в атмосферный воздух, отходящих от стационарных источников;

3.2. Сброс загрязненных сточных вод в поверхностные водные объекты;

3.3. Заболеваемость на 1 000 человек населения по классу заболеваний новообразования (зарегистрировано заболеваний у пациентов с диагнозом, установленным впервые в жизни);

3.4. Травмы, отравления и некоторые другие последствия воздействия внешних причин на 1 000 человек;

3.5. Число дел об административных правонарушениях, рассмотренных в установленном порядке;

3.6. Количество дорожно-транспортных происшествий с пострадавшими;

3.7. Количество пожаров.

Традиционно в научных исследованиях при анализе статданных выделяют демографические и социально-экономические показатели. Мы же выбрали те индикаторы, которые будут приоритетными при выборе территории для проживания (наличие мест работы, свободного жилья, уровень жизни, экологию), для

туризма (транспортная доступность территории, наличие отелей, экология и безопасность), для инвестиций (наличие свободной рабочей силы, покупательная способность населения, торговый оборот), то есть для успешной реализации стратегий территори-

ального развития, включая обеспечение территориальной безопасности.

Рассчитаем вышеприведенные индикаторы на примере Ивановской области по выделенным блокам на основании данных Госкомстата РФ.

Таблица 1. Индикаторы социально-экономического развития Ивановской области¹

Индикатор	2019	2020	2021
1.1. Численность населения, тысяч человек	997	987	977
1.2. ВРП на душу населения, рублей	254 801,20	273 821,50	306 145
1.3. Среднедушевые денежные доходы населения (в месяц); рублей	25 794	26 284	28 680
1.4. Численность населения с денежными доходами ниже прожиточного минимума, %	14,2	13,7	12,9
1.5. Число предприятий и организаций, ед.	27 603	25 839	24 866
1.6. Уровень безработицы, %	3,8	5,4	4,5
1.7. Стоимость основных фондов, миллионов рублей	1 143 074	1 179 149	1 220 062

По численности населения наша область занимает 56 место среди регионов РФ, отрицательным моментом является ежегодное сокращение численности населения региона на 10 тыс. человек, а положительным является рост показателя валового регионального продукта (ВРП), индекс физического объема ВРП в 2020 году составил 102,2 %, в 2021 – 103 %, по этому показателю регион занимает 77 позицию среди субъектов РФ.

По показателю среднедушевых доходов населения область занимает 57 место, примечательно, что по показателю среднемесячная номинальная заработная плата работников организаций регион занимает 81 позицию. Тем не менее, в 2021 году рост показателя среднедушевых доходов составил 9,1 %.

Относительно высокий в регионе показатель численности населения с денежными доходами ниже прожиточного минимума, значение которого в 2021 году снизилось до 12,9 %, в то время как средний показатель по стране равен 11 %, следует отнести к одному из самых высоких показателей по ЦФО, хуже ситуация только в Смоленской области, где

доля населения с доходами ниже прожиточного минимума в 2021 году составляла 14,3 %.

Число предприятий в период 2019–2021 гг. значительно сократилось, что, в первую очередь, может быть объяснено воздействием ограничений, вызванных COVID-19, аналогичные процессы происходили во всех регионах страны.

Показатель уровня безработицы в Ивановской области ниже аналогичного показателя по РФ в целом, который в 2020 г. составлял 5,8 %, а в 2021 году – 4,8 %, однако в соседних Костромской и Владимирской областях в 2021 году данный показатель составил 4,4 % и 3,9 % соответственно, что ставит наш регион в менее выигрышную позицию. В анализируемом периоде, несмотря на сложную ситуацию, вызванную пандемией, отмечался рост показателя стоимости основных фондов, темп роста которых в 2021 году составил 103,5 %.

Таким образом, по данному блоку вызывают опасения три показателя: численность населения, численность предприятий и организаций, численность населения с доходами ниже прожиточного минимума, это может снизить поток потенциальных инвесторов.

Таблица 2. Индикаторы, характеризующие состояние инфраструктуры Ивановской области²

Индикатор	2019	2020	2021
2.1. Ввод в действие жилых домов, тыс. м ² общей площади	331	333	363
2.2. Плотность железнодорожных путей, км путей на 10 000 км ² территории	161	161	161
2.3. Плотность автомобильных дорог общего пользования с твердым покрытием, км путей на 1 000 км ² территории	337	338	341
2.4. Оборот розничной торговли на душу населения, рублей	178 517	180 314	211 546
2.5. Индекс потребительских цен, %	102,85	105,79	109,94
2.6. Коллективные средства размещения, ед.	111	106	151

¹ Регионы России. Социально-экономические показатели. 2022: Стат. сб. / Росстат. М., 2022. 1122 с.

² Регионы России. Социально-экономические показатели. 2022: Стат. сб. / Росстат. М., 2022. 1122 с.

В анализируемом периоде отмечался ежегодный рост показателя ввода в действие жилых домов, который в 2021 году составил 363 тыс. м², однако, если обратиться к региональной статистике, то можно отметить, что это один из самых низких показателей в ЦФО. Во Владимирской области в 2021 году рассматриваемый показатель составлял 829 тыс. м², в Ярославской – 760 тыс. м².

По показателю плотности железнодорожных путей Ивановская область занимает предпоследнее место в ЦФО, опережая Костромскую область, однако по показателю плотности автомобильных дорог с твердым покрытием регион занимает средние позиции, обогнав Ярославскую область (282 км путей на 1 000 км² территории).

В рассматриваемый период в регионе наблюдался рост цен, в 2020 году индекс потребительских цен составил 105,79 %, в 2021 году этот показатель достиг 109,94 %, что выше, чем в среднем по ЦФО и стране в це-

лом, где в 2021 году этот показатель составлял 108,32 % и 108,39 % соответственно.

Оборот розничной торговли в рассматриваемом периоде ежегодно рос, несмотря на ограничения, вызванные пандемией, причем в 2022 году темп роста составил 117,3%. Рост данного показателя приводит к увеличению доходов предприятий, а, следовательно, к росту поступлений в бюджет.

Увеличение числа коллективных средств размещения (гостиниц, отелей), наличие достопримечательностей и развитой дорожно-транспортной сети способствуют укреплению хозяйственных связей, росту конкурентоспособности региона и привлечению в регион туристов, особенно при грамотном событийном маркетинге и использовании СМИ и соцсетей.

Важными для территориального развития и привлечения внимания к территории являются показатели экологической, правовой, транспортной безопасности, успешной деятельности сил и средств МЧС и МВД России.

Таблица 3. Индикаторы комплексной безопасности Ивановской области^{3,4}

Индикатор	2019	2020	2021
3.1. Выбросы загрязняющих веществ в атмосферный воздух, отходящих от стационарных источников, тысяч тонн	17	25	25
3.2. Сброс загрязненных сточных вод в поверхностные водные объекты, миллионов м ³	61	62	59
3.3. Заболеваемость на 1 000 человек населения по классу заболеваний новообразования (зарегистрировано заболеваний у пациентов с диагнозом, установленным впервые в жизни)	13,1	10	9,8
3.4. Травмы, отравления и некоторые другие последствия воздействия внешних причин на 1 000 человек	84,8	78,9	75,7
3.5. Число дел об административных правонарушениях, рассмотренных в установленном порядке (за год), ед.	9 686	5 730	8 469
3.6. Количество дорожно-транспортных происшествий с пострадавшими, единиц на 100 тыс. населения	113,5	107,7	94,9
3.7. Количество пожаров, ед.	3922	3733	3698

По данному блоку Ивановская область в 2019-2021 годах укрепляла свои позиции и наращивала уровень безопасности. Так, по показателям загрязнения окружающей среды, регион занимал средние позиции по ЦФО. Сократилось количество впервые зарегистрированных заболеваний по классу «новообразования», причем в 2021 году этот показатель был ниже аналогичного показателя по ЦФО, который в 2021 году составлял 9,9 случаев на 1 000 человек населения.

Отдельно стоит отметить тот факт, что в регионе отмечается самое низкое по ЦФО число дел об административных правонарушениях, скачок числа правонарушений в 2020, 2021 годах объясняется ограничениями в передвижении граждан, связанными с пандемией, но в целом Ивановскую область можно охарактеризовать как регион с низким уровнем криминогенной обстановки.

О росте безопасности на дорогах свидетельствует сокращение ДТП с пострадавшими: если в 2019 году этот показатель со-

³ Регионы России. Социально-экономические показатели. 2022: Стат. сб. / Росстат. М., 2022. 1122 с.

⁴ Пожары и пожарная безопасность в 2021 году: статист. сб. Балашиха: ФГБУ ВНИИПО МЧС России, 2022. 114 с.

ставлял 113,5 единиц на 100 тыс. населения, то в 2021 году он снизился до 94,9 случаев на 100 тыс. населения, что позволило региону занять 46 позицию среди субъектов РФ. Аналогичная ситуация сложилась и в области пожарной безопасности: в рассматриваемый период наблюдалось не только сокращение числа пожаров, но и значительное снижение ущерба.

Таким образом, можно сделать вывод, что с точки зрения территориальной безопасности Ивановская область является привлекательной для различных целевых групп. Наиболее слабым звеном получились индикаторы ресурсного блока.

Заметим, что участие Ивановской области в Федеральных проектах «Формирование комфортной городской среды» и «Содействие развитию инфраструктуры субъектов Российской Федерации (муниципальных обра-

зований)», в Госпрограммах РФ «Развитие туризма», «Защита населения и территорий от чрезвычайных ситуаций, обеспечение пожарной безопасности и безопасности людей на водных объектах» и «Обеспечение общественного порядка и противодействие преступности», позволит решить многие выявленные проблемы в формировании комфортной и безопасной среды для жизни населения и для развития бизнеса.

Маркетинг в сфере территориальной безопасности, таким образом, становится важным фактором для продвижения и формирования безопасной территории. Использование маркетинговых инструментов для продвижения территории и привлечения инвестиций, предпринимателей и туристов, способствует получению надежной информации, повышению качества жизни населения и устойчивости развития территории.

Список литературы

1. Скулаков Р. М. Территориальная целостность и территориальная безопасность государств // Юридический вестник Дагестанского государственного университета. 2018. № 1. С. 78–82. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/territorialnaya-tselostnost-i-territorialnaya-bezopasnost-gosudarstv>
2. Петров Д. Е. Институциональные основы обеспечения территориальной безопасности в субъектах Российской Федерации и на муниципальном уровне // Известия Саратовского ун-та Серия «Социология. Политология». 2015. №4. С. 79–86. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/institutsionalnye-osnovy-obespecheniya-territorialnoy-bezopasnosti-v-subektah-rossiyskoy-federatsii-i-na-munitsipalnom-urovne>
3. Максимова И. В. Маркетинг территорий: учебно-методическое пособие. Волгоград: Изд-во Волгоградского института управления – филиала РАНХиГС, 2021. 84 с.
4. Маркетинг территорий: учебник для вузов / А. А. Угрюмова [и др.]; под общей редакцией А. А. Угрюмовой, М. В. Савельевой, Е. В. Ерохиной. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Издательство Юрайт, 2023. 446 с.
5. Погорилык Б. И., Шишкин А. В., Муртузалиева Т. В. Региональный маркетинг как инновационный управленческий метод развития территорий // Практический маркетинг.

2017. № 9. С. 39–44. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/regionalnyy-marketing-kak-innovatsionnyy-upravlencheskiy-metod-razvitiya-territorii>

6. Борисова О. М., Тимофеев А. В. Имиджевые инструменты продвижения стратегической концепции маркетинга территорий // Вестник СИБИТа. 2015. № 2. С. 9–16. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/imidzhevyye-instrumenty-prodvizheniya-strategicheskoy-kontseptsii-marketinga-territorii>

References

1. Skulakov R. M. Territorial'naya celostnost' i territorial'naya bezopasnost' gosudarstv [Territorial integrity and territorial security of States]. *Yuridicheskij vestnik Dagestanskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2018, issue 1, pp. 78–82. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/territorialnaya-tselostnost-i-territorialnaya-bezopasnost-gosudarstv> (in Russ.).
2. Petrov D. E. Institucional'nye osnovy obespecheniya territorial'noj bezopasnosti v sub'ektah Rossijskoj Federacii i na municipal'nom urovne [Institutional foundations for ensuring territorial security in the subjects of the Russian Federation and at the municipal level]. *Izvestiya Saratovskogo un-ta. Seriya «Sociologiya. Politologiya»*, 2015, issue 4, pp. 79–86. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/institutsionalnye-osnovy-obespecheniya-territorialnoy-bezopasnosti-v-subektah-rossiyskoy-federatsii-i-na-munitsipalnom-urovne> (in Russ.).

⁵ Официальный сайт Справочной правовой системы КонсультантПлюс <https://www.consultant.ru/>

3. Maksimova I. V. Marketing territorij: uchebno-metodicheskoe posobie [Marketing of territories]. Volgograd: Izd-vo Volgogradskogo instituta upravleniya – filiala RANHiGS, 2021. 84 p.

4. Marketing territorij: uchebnik dlya vuzov / A. A. Ugryumova [i dr.]; pod obshchej redakciej A. A. Ugryumovoj, M. V. Savel'evoj, E. V. Erohinov. 2-e izd., pererab. i dop. [Marketing of territories]. Moscow: Izdatel'stvo Yurajt, 2023. 446 p.

5. Pogorilyak B. I., Shishkin A. V., Mur-tuzaliev T. V. Regional'nyj marketing kak innovacionnyj upravlencheskij metod razvitiya territorij [Regional marketing as an innovative manage-

ment method of territorial development]. *Prakticheskij marketing*, 2017, issue 9, pp. 39–44. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/regionalnyy-marketing-kak-innovatsionnyy-upravlencheskij-metod-razvitiya-territoriy> (in Russ.).

6. Borisova O. M., Timofeev A. V. Imidzhevye instrumenty prodvizheniya strategicheskoy koncepcii marketinga territorij [Image tools for promoting the strategic concept of territory marketing]. *Vestnik SIBITa*, 2015, issue 2, pp.9–16. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/imidzhevye-instrumenty-prodvizheniya-strategicheskoy-kontseptsii-marketinga-territoriy> (in Russ.).

Боровкова Наталия Владимировна

Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,

Российская Федерация, г. Иваново

кандидат экономических наук, доцент

E-mail: bnv7777@ya.ru

Borovkova Nataliya Vladimirovna

Federal State Educational Institution of Higher Education «Ivanovo Fire and Rescue Academy of the State

Fire Service of the Ministry of the Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination of

Consequences of Natural Disasters»,

Russian Federation, Ivanovo

candidate of economic sciences, associate professor

E-mail: bnv7777@ya.ru

Медведева Мария Валерьевна

ФГБОУ ВО Ивановский государственный политехнический университет,

Российская Федерация, г. Иваново

кандидат экономических наук

E-mail: mmv_777@mail.ru

Medvedeva Maria Valeriyevna

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Ivanovo State Polytechnic University»,

Russian Federation, Ivanovo

candidate of economic Sciences

E-mail: mmv_777@mail.ru

УДК 614.849, 614.842.8

РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ УПРАВЛЕНИЯ СОСТАВОМ ОПЕРАТИВНОГО ШТАБА НА МЕСТЕ ПОЖАРА В ПОДЗЕМНЫХ СООРУЖЕНИЯХ

М. М. ДАНИЛОВ, А. Н. ДЕНИСОВ, П. С. КОРОЛЕВ

Академия ГПС МЧС России,
Российская Федерация, г. Москва

E-mail: mmdaniloff@mail.ru, dan_aleks@mail.ru, pavelpavel2415@mail.ru

В представленной работе рассматривается модель решения задачи управления в организационной системе пожаротушения в подземных сооружениях при необходимости формирования комплексного взаимодействия между пожарно-спасательными подразделениями совместно с аварийными службами эксплуатирующих организаций и города, в граничных условиях пожаротушения при ведении боевых действий по тушению пожара на месте пожара в подземных сооружениях. Представлены задачи управления составом штаба при привлечении дополнительных должностных лиц в состав штаба при управлении боевыми действиями по тушению пожара на месте пожара в подземных сооружениях. Приведена формализация решения задач привлечения в состав штаба пожаротушения дополнительных должностных лиц, формирования штаба и замены привлекаемых специалистов. Разработанная модель позволит определить оптимальный состав штаба и включить в него лиц, результативность деятельности которых превышает возможные ресурсно-временные затраты на включение в состав. Результаты работы будут использоваться для проведения дальнейшего исследования по разработке моделей и алгоритмов решения задач управления в организационной системе пожаротушения в подземных сооружениях.

Ключевые слова: выбор, управление, решение задач управления, альтернатива, боевые действия, тушение пожаров, штаб пожаротушения.

THE TASK OF CONTROLLING THE OPERATIONAL HEADQUARTERS STAFF ON THE SCENE OF A FIRE IN AN UNDERGROUND STRUCTURE

M. M. DANILOV, A. N. DENISOV, P. S. KOROLEV

Academy of State Fire Service of EMERCOM of Russia,
Russian Federation, Moscow

E-mail: pavelpavel2415@mail.ru, mmdaniloff@mail.ru, dan_aleks@mail.ru

In the presented work the model of the decision of a management problem in the organizational system of fire extinguishing in underground constructions at necessity of formation of complex interaction between fire-rescue divisions together with emergency services of operating organizations and a city, in boundary conditions of fire fighting at conducting of operations on extinguishing of fire on a place of fire in underground constructions is considered. Tasks of a management of a staff staff at attraction of additional officials to a staff at management of operations on fire extinguishing on a place of fire in underground constructions are presented. The formalization of solving the problems of involving additional officials into the fire-fighting headquarters, forming the headquarters and replacing the involved specialists is presented. The developed model will allow to determine the optimum staff structure and include into it the persons, the efficiency of whose activity exceeds possible resource and time expenditures for their inclusion into the structure. Results of work will be used for carrying out the further researches on development of models and algorithms of the decision of problems of management in organizational system of firefighting in underground constructions.

Key words: selection, management, management problem solving, alternative, combat operations, firefighting, firefighting headquarters.

Введение

Одной из основных задач управления пожарно-спасательными подразделениями (далее – ПСП) при ведении боевых действий по тушению пожара (далее – БД по ТП) на месте пожара в подземных сооружениях (далее – ПС) в граничных условиях пожаротушения [1] является организация комплексного взаимодействия между всеми участниками тушения пожара. К ПС, рассматриваемым в данной работе, относятся инженерно-транспортные ПС, предприятия торговли и общественного питания, размещенные под землей, административные, зрелищные и спортивные ПС, ПС коммунально-бытового обслуживания и связи, подземные сооружения и сети инженерного оборудования и другие ПС гражданского назначения.

Взаимодействие руководителя тушения пожара (далее – РТП) со службами эксплуатации объекта, на котором ведутся боевые действия по тушению пожара, службами города и федеральными органами исполнительной власти происходит в рамках складывающейся оперативной обстановки и на месте ведения боевых действий по тушению пожара. РТП необходимо определить конкретную зону проведения БД по ТП и сообщить об этом всем участникам работ. Организация взаимодействия (включая привлечение дополнительных должностных лиц в состав оперативного штаба на месте пожара, далее – ШПТ)) и управления БД по ТП на месте пожара в ПС РТП реализуется в граничных условиях пожаротушения [1], возникающих при тушении пожара в ПС.

Так, для оперативного поиска решений ШПТ, в его состав могут включаться специалисты таких организаций как АО «Москоллектор», АО «Мосгаз», ПАО «Россети» Московского региона (при ведении БД по ТП в ПС сетей инженерного оборудования), дежурный инженер (представитель эксплуатирующей организации) при ведении БД по ТП в ПС высокой протяженности и площади) и др.

Цель исследования

Целью исследования является разработка математической модели организации комплексного взаимодействия между пожарно-спасательными подразделениями совместно с аварийными службами эксплуатирующих организаций и города, в граничных условиях пожаротушения при ведении боевых действий по тушению пожара на месте пожара в подземных сооружениях.

Основная часть

Качественным изменением обстановки, сложившейся на пожаре является достижение основной боевой задачи путем выполнения комплексного условия взаимодействия на основе идентификации и анализа граничных условий пожаротушения, влияющих на обстановку и РТП. Чем выше сложность пожара, тем больше неизвестных факторов и условий воздействует на деятельность РТП по выработке и принятию решений [2].

Решение задачи управления привлечением в состав ШПТ дополнительных участников, при ведении БД по ТП на месте пожара в ПС, характеризуется необходимостью принятия решений по включению в состав штаба представителей аварийных служб эксплуатирующих организаций и города.

Управление составом ШПТ – это сложный процесс, который требует высокой организованности и координации действий от старшего должностного лица, отвечающего за организацию БД по ТП на месте пожара в ПС. В целом, процесс управления составом ШПТ можно представить, как последовательность следующих этапов:

1. Определение состава ШПТ.
2. Разработка плана действий.
3. Координация действий.
4. Анализ эффективности работы.

Для оптимального управления составом ШПТ требуются как высокая квалификация и опыт каждого должностного лица, как замещающего элемента в составе ШПТ и лица, принимающего решения при организации и ведении БД по ТП на месте пожара в ПС, так и апроприация передовых технологий и средств связи для обеспечения быстрой и эффективной передачи информации.

Для этого необходимо рассмотреть задачу управления составом рассматриваемой организационной системы – оптимального набора нештатных должностей ШПТ и руководителей групп, работающих в комплексе оперативно-тактических и инженерно-технических мероприятий, направленных на достижение основной боевой задачи при тушении пожара¹.

На основании, изложенного в [3–6] подхода введем, для решения поставленной задачи, следующие обозначения:

$SH_0 = \{1, 2, 3 \dots, k\}$ – начальный состав ШПТ, состоящий из n членов, $|SH_0| = k$;
 SH – необходимый состав ШПТ;

¹ Приказ МЧС России от 16.10.2017 № 444 (ред. от 28.02.2020) «Об утверждении Боевого устава подразделений пожарной охраны, определяющего порядок организации тушения пожаров и проведения аварийно-спасательных работ» (Зарегистрировано в Минюсте России 20.02.2018 № 50100).

SH_i – множество возможных (потенциальных) членов ШПТ, $SH \subseteq SH_i$; $SH_0 \subseteq SH_i$;

δ^+ – множество членов, включенных в состав ШПТ;

δ^- – множество членов, исключенных из состава ШПТ;

$F(SH, SH_0)$ – функционал соответствия начального и необходимого числа членов ШПТ.

Для дальнейшего исследования, согласно [7] выделим следующие подзадачи (рис. 1), которые могут быть решены руководителем тушения пожара для достижения цели формирования, наиболее подходящего под окружающую обстановку на пожаре оперативного штаба на месте пожара, исходя из существующих граничных условий пожаротушения

при управлении БД по ТП на месте пожара в ПС, а именно:

- тактические возможности ПСП;
- место возникновения пожара;
- фактор действий в условиях крайней необходимости;
- степень подготовки персонала к действиям при возникновении пожара;
- степень подготовки должностных лиц, участвующих в тушении пожара;
- отработанность взаимодействия с дежурными службами города и эксплуатируемых организаций;
- актуальность данных в документах предварительного планирования;
- стаж руководства тушением пожаров данного типа.

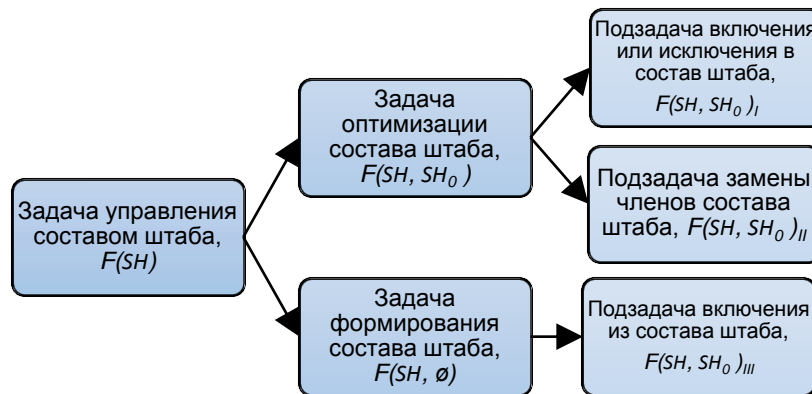


Рис. 1. Задачи управления составом штаба при привлечении дополнительных ДЛ в состав штаба при управлении БД по ТП на месте пожара в ПС.

Для решения задачи управления составом штаба, результатом которого является привлечение в состав штаба дополнительных должностных лиц (далее – ДЛ). Таким образом, получаем подзадачу формирования состава штаба (привлечения дополнительных ДЛ) и подзадачу оптимизации состава штаба (которая включает в себя расширение состава ($|SH| > |SH_0|$), сокращение состава ($|SH| < |SH_0|$), замену существующих элементов состава ($|SH| \neq |SH_0|$)).

Для формирования таких задач при привлечении дополнительных должностных лиц, необходимо выполнить следующие шаги:

1. Определение подзадач, которые необходимо решить для достижения основных задач оперативного штаба на месте пожара².

Например, такими подзадачами могут являться: координация действий всех участников тушения пожара, контроль за расходом ресурсов при ведении БД по ТП на месте пожара в ПС, обеспечение своевременной передачи информации.

2. Определение необходимого состава штаба. В зависимости от типа объекта пожара, его размеров и сложности, может потребоваться включение в оперативный штаб пожаротушения различных специалистов и представителей эксплуатирующих объект организаций. Например, при тушении пожара в крупном коллекторе могут потребоваться для включения в состав штаба специалисты по электроснабжению, газоснабжению (представители эксплуатирующих данные коммуникации организаций).

² Приказ МЧС России от 16.10.2017 № 444 (ред. от 28.02.2020) «Об утверждении Боевого устава подразделений пожарной охраны, определяющего порядок организации тушения пожаров и проведения

аварийно-спасательных работ» (Зарегистрировано в Минюсте России 20.02.2018 № 50100).

3. Распределение обязанностей. Дополнительно привлеченные в состав ШПТ ДЛ (представители аварийных служб города и эксплуатирующих организаций) должны выполнять те обязанности, которые соответствуют их профессиональным качествам и компетенциям.

4. Обеспечение взаимодействия (связи) на пожаре. Одним из факторов достижения поставленных целей и задач является эффективное взаимодействие между всеми участниками БД по ТП на месте пожара в ПС.

5. Проведение тренировок по отработке взаимодействия и координации. В целях повышения уровня подготовки участников штаба и совершенствования координации и взаимодействия между ними необходимым аспектом повышения эффективности работы оперативного штаба на месте пожара является проведение тренировок.

6. Определение порядка привлечения дополнительных должностных лиц в состав штаба. В зависимости от характера пожара и его масштабов, может потребоваться привлечение дополнительных должностных лиц в состав штаба для решения определенных задач. Для сокращения времени привлечения дополнительных должностных лиц необходимо заранее определить порядок их вызова и связи с ними.

7. Предварительное планирование и создание баз данных. Для повышения скорости принятия решений РТП необходимо предварительное планирование действий на пожаре, в том числе и штаба пожаротушения. Также возможно использование баз данных, в которых будет содержаться информация о доступных силах и средствах, характеристиках объектов пожара, а также сведения о прошлых параметрах тушения аналогичных пожаров.

8. Обеспечение безопасности. Одной из главных задач штаба пожаротушения является обеспечение безопасности всех участников тушения пожара.

9. Обеспечение своевременной передачи информации. Одна из ключевых задач штаба – своевременное получение и передача информации между участниками БД по ТП на месте пожара в ПС, а также взаимодействие с эксплуатирующими организациями или аварийными службами города.

10. Определение количества сил и средств. Для успешного достижения основной боевой задачи на пожаре необходимо достаточное количество ресурсов, таких как пожарная техника, личный состав и огнетушащие вещества.

11. Соблюдение нормативно-правовой базы. При формировании штаба тушения по-

жара необходимо опираться на актуальную нормативно-правовую базу, что позволит избежать нарушений законодательства и обеспечить безопасность всех участников тушения пожара.

12. Контроль за выполнением задач. Также, одной из частей работы штаба является контроль за выполнением всех задач, которые были поставлены. Для этого необходимо установить систему отчетности и контроля, которая позволит оперативно реагировать на возникающие проблемы и корректировать планы действий.

13. Анализ результатов и опыта, оценка эффективности работы штаба и постоянное совершенствование работы штаба. Это может быть достигнуто за счет внедрения новых технологий и методов работы, проведения тренировок и учений, анализа произошедших пожаров и обмена опытом работы с коллегами.

Таким образом, раскрыть подзадачу формирования состава ШПТ при привлечении дополнительных должностных лиц можно, определив цели и задачи, состав участников, порядок привлечения дополнительных должностных лиц, создания планов действий и баз данных, обеспечения безопасности, своевременной передачи информации, определения количества ресурсов, соблюдения нормативно-правовой базы, контроля за выполнением задач, анализа результатов и опыта, постоянного совершенствования работы штаба, сотрудничества с другими организациями и в том числе с использованием инновационных технологий и решений в граничных условиях при управлении БД по ТП на месте пожара в ПС.

Задача формирования состава штаба в граничных условий при управлении БД по ТП на месте пожара в ПС характеризуется отсутствием назального состава членов штаба ($SH_0 = \emptyset$):

$$F(SH, \emptyset) \rightarrow \max\{SH \in SH^i\}, \quad (1)$$

Задача оптимизации состава штаба в граничных условий при управлении БД по ТП на месте пожара в ПС (при известном начальном составе штаба SH_0) имеет вид (в общем виде):

$$F(SH, SH_0) \rightarrow \max\{SH \in SH^i\}, \quad (2)$$

Подзадача включения в состав штаба может быть решена при ограничении числа включаемых членов в состав штаба. Например, при ограничении l (максимальное количество включаемых членов) при начальном количестве членов k :

$$F(SH, SH_0)_I \rightarrow \max\{SH \in SH^i \mid SH_0 \leq k + l\}, \quad (3)$$

Подзадача исключения из состава штаба заключается в нахождении множества $\delta^- \subseteq SH_0$, удовлетворяющее принципу *min – max* (достижение максимального результата при минимальном времени достижения, затрачивая минимальное количество ресурсов). Например, при ограничении *l* (минимальное количество исключаемых членов) при начальном количестве членов *k*:

$$F(SH, SH_0)_{II} \rightarrow \max\{SH = SH_0 \mid |\delta^-| \geq l\}, \quad (4)$$

Подзадача замены членов в составе штаба заключается в поиске множества, включаемых и исключаемых членов штаба, удовлетворяющее принципу *min – max*. Например, при заменяемом числе членов *l* и начальном количестве членов *k*:

$$F(SH, SH_0)_{III} \rightarrow \max\{SH \in SH^i, \mid \delta^- \mid = \mid \delta^+ \mid = l\}, \quad (5)$$

С точки зрения информационной нагрузки [8] на лицо принимающее решение (далее – ЛПР) число включаемых элементов в рассматриваемую систему определяется как количество возможных связей между элементами и центром, которые всегда ограничены (возможности ЛПР по переработке информации ограничены).

Если $SH = \{1, 2, 3, \dots, k\}$ – множество элементов данной системы, x_i – действие *i*-го элемента, $p_i(x_i)$ – ресурсные (временные) затраты *i*-го элемента. ($i \in SH$), $x = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ – вектор действий элементов рассматриваемой системы. То, решая поставленную задачу, получаем искомый функционал соответствия состава SH :

$$F(SH) = \sum_{i \in SH} (x_i - p_i(x_i)), \quad (6)$$

Задачей определения оптимального состава ШПТ в известных граничных условиях пожаротушения является поиск состава SH .

Если в рассматриваемой системе оптимален состав, отличный от максимального, тогда ЛПР должно гарантировать элементу максимальный уровень полезности [9] T_{max} , если элемент включен в рассматриваемую систему, или минимальный T_{min} – если не включен. $T_{max} \geq T_{min}$, $i \in SH^i$.

Тогда величина оптимального состава F_i^* будет определена, как:

$$F_i^* = \sum_{i \in SH} (x_i - p_i(x_i) - T_{min}), \quad i \in SH, \quad (7)$$

При этом функция решения задачи оптимизации состава рассматриваемой системы примет вид:

$$F(SH) = F_i^* - \sum_{i \in SH^i} T_{min} \quad (8)$$

Следовательно, состав $SH^* = \{i \in SH^i \mid F_i^* \geq T_{min}\}$ – оптимален.

При реализации неравенства:

$$F^* = F(SH^i) = F_i^* - \sum_{i \in SH^i} T_{min} < 0 \quad (9)$$

Ни один состав не является необходимым, кроме изначального. В состав ШПТ в рамках известных граничных условий при ведении БД по ТП на месте пожара в ПС в таком случае необходимо включать только тех членов, результативность деятельности которых превышает возможные ресурсно-временные затраты на включение в состав ШПТ, то есть задача, требующая решения может быть решена быстрее по времени и менее затратнее по ресурсам (в условиях обоснованного риска) без привлечения дополнительных должностных лиц.

Граничные условия при ведении БД по ТП на месте пожара в ПС создают уникальную окружающую обстановку, и, как следствие, ШПТ необходимо выработать управленческие альтернативы, адекватные сформировавшейся обстановке. Выработка данных альтернатив, при выполнении идентификации существующих граничных условий, и организация комплексного взаимодействия в граничных условиях, с определением оптимального состава ШПТ, в свою очередь позволяют менять окружающую обстановку и существующие граничные условия для достижения основной боевой задачи на пожаре в ПС (рис. 2).

Для дальнейшей интеграции модели организации комплексного взаимодействия в граничных условиях при БД по ТП на месте пожара в ПС, необходима разработка алгоритма решения задачи многокритериального управления взаимодействием в граничных условиях при тушении пожара в ПС. Данный алгоритм будет разрабатываться при дальнейшем проведении исследования и позволит реализовать практическое применение разработанной модели при ведении БД по ТП на месте пожара в ПС.

Для разработки математической модели организации взаимодействия в граничных условиях при БД по ТП на месте пожара в ПС можно использовать следующий подход.

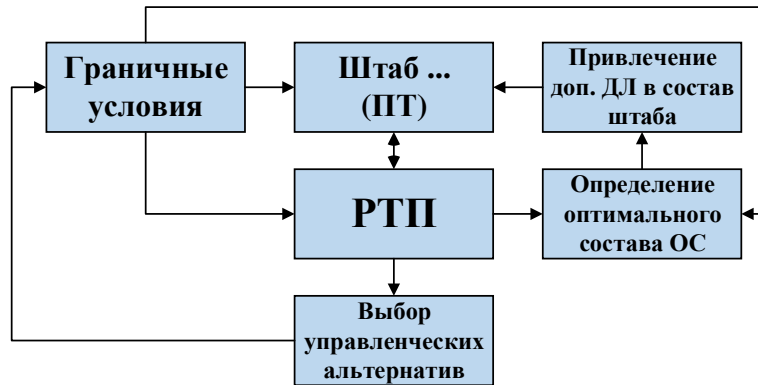


Рис. 2. Структурная схема процесса организации взаимодействия с оценкой оптимального набора элементов организационной системы комплексного взаимодействия в граничных условиях при ведении БД. ДЛ – должностные лица, АСР – аварийно-спасательные работы, ПТ – пожаротушение, ОС – организационная система.

Во-первых, необходимо определить основные параметры системы. К ним можно отнести геометрические характеристики подземных сооружений, свойства материалов, из которых они сделаны, и параметры пожара (температура, скорость распространения огня, мощность тепловыделения и т.д.).

Затем следует определить уравнения, описывающие процессы, происходящие в системе. Это могут быть уравнения теплопереноса, уравнения динамики жидкости и газа, уравнения химической кинетики и т.д.

Полученные уравнения необходимо решить численными методами. Для этого можно использовать метод конечных элементов или метод конечных объемов.

Результаты моделирования могут быть использованы для оптимизации процесса тушения пожара. Например, можно определить оптимальные точки расположения пожарных стволов и определить параметры системы автоматического тушения пожара.

Таким образом, разработка математической модели организации комплексного взаимодействия в граничных условиях при БД по ТП на месте пожара в ПС требует определения основных параметров системы, формулирования уравнений, решения их численными методами и использования результатов для оптимизации процесса тушения пожара.

Заключение

Разработана математическая модель организации комплексного взаимодействия между пожарно-спасательными подразделениями совместно с аварийными службами эксплуатирующих организаций города, в граничных условиях пожаротушения при ведении бо-

евых действий по тушению пожара в подземных сооружениях.

Применение разработанной модели актуально не только для анализа возможных обстановок и сценариев ведения БД по ТП на месте пожара в ПС, но и для моделирования процесса управления организационной системой пожаротушения в граничных условиях пожаротушения в ПС. Например, использование модели в разработке сценариев при предварительном планировании тушения пожаров, планировании проведения пожарно-тактических и командно-штабных учений, в разработке документов по взаимодействию с организациями, эксплуатирующими рассматриваемые объекты.

Представлены задачи управления составом штаба при привлечении дополнительных должностных лиц в состав штаба при управлении боевыми действиями по тушению пожара в подземных сооружениях. Приведена формализация решения задач привлечения в состав штаба пожаротушения дополнительных должностных лиц, формирования штаба и замены привлекаемых специалистов. Разработанная модель позволит определить оптимальный состав штаба и включить в него лиц, результативность деятельности которых превышает возможные ресурсно-временные затраты на включение в состав.

Решение вопроса взаимодействия при ведении БД по ТП на месте пожара в ПС представляют интерес для дальнейшего исследования. Результаты, полученные, в ходе проведения данной работы будут применены для разработки алгоритмов управления взаимодействием между элементами системы пожаротушения при ведении БД по ТП на месте пожара в ПС, и использованы для разработки

моделей и алгоритмов решения задач управления в организационной системе пожаротушения в подземных сооружениях. Также, результаты проведенной работы будут применены для определения условий принятия опорных решений [9] при решении задач управления тушением пожаров в ПС.

Разработанная модель направлена на поддержку в решении задач по определению оптимальных стратегий (тактик) БД по ТП на месте пожара в ПС. Таким образом, применение разработанной модели может значительно

повысить эффективность работы пожарно-спасательных подразделений и специалистов, занимающихся проведением боевых действий по тушению пожаров на территории, на которой существует угроза причинения вреда жизни и здоровью граждан, имуществу физических и юридических лиц в результате воздействия опасных факторов пожара и (или) осуществляются действия по тушению пожара и проведению аварийно-спасательных работ, связанных с тушением пожара на рассматриваемых объектах.

Список литературы

1. Королев П. С. Идентификация граничных условий в действиях пожарно-спасательных подразделений по тушению пожаров в подземных сооружениях // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: Естественные и технические науки. 2022. № 10/2. С. 55–62. DOI: 10.37882/2223–2966.2022.10–2.15. EDN: ZMFBVA
2. К вопросу выбора решений при тушении пожара на основе этапов развития системы поддержки принятия решений / М. М. Данилов, М. А. Данилова, М. П. Еремин [и др.] // Техносферная безопасность. 2018. № 4 (21). С. 113–121. EDN: YXLVOX.
3. Новиков Д. А. Теория управления организационными системами. М.: МПСИ, 2005. 584 с.
4. Новиков Д. А. Методология управления. М.: Libroком, 2012. 128 с.
5. Новиков Д. А. Механизмы функционирования многоуровневых организационных систем. М.: Фонд «Проблемы управления», 1999. 150 с.
6. Новиков Д. А. Цветков А. В. Механизмы стимулирования в многоэлементных организационных системах. М.: Апостроф, 2000. 184 с.
7. Новиков Д. А. Теория управления организационными системами: вводный курс. М.: ИПУ РАН, 2004. 81 с.
8. Новиков Д. А., Губко М. В. Management in organizations: collective decision-making / Proceedings of the 16-th International Conference on Systems Engineering, Coventry, 2004, vol. 2, pp. 515–519.
9. Модель оперативного управления в принятии опорных решений с учётом оптимальности / М. М. Данилов, М. А. Данилова, А. Н. Денисов [и др.] // Научный журнал «Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация». 2018. № 3. С.94–101. DOI: 10.25257/FE.2018.3.94-101. EDN: YKWDID.

References

1. Korolev P. S. Identifikaciya granichnykh uslovij v dejstviyah pozharно-spasatel'nykh podrazdelenij po tusheniyu pozharov v podzemnykh sooruzheniyah [Identification of boundary conditions in the actions of fire and rescue units to extinguish fires in underground structures]. *Sovremennaya nauka: aktual'nye problemy teorii i praktiki. Seriya: Estestvennye i tekhnicheskie nauki*, 2022, vol.10/2, pp. 55–62. DOI: 10.37882/2223–2966.2022.10–2.15. EDN: ZMFBVA
2. K voprosu vybora reshenij pri tushenii pozhara na osnove etapov razvitiya sistemy podderzhki prinyatiya reshenij. [Towards decision-making in firefighting based on the development stages of a decision-support system] / M. M. Danilov, M. A. Danilova, M. P. Eremin [et al.]. *Tekhnosfernaya bezopasnost'*, 2018, vol. 4 (21), pp. 113–121. EDN: YXLVOX.
3. Novikov D. A. *Teoriya upravleniya organizacionnymi sistemami* [Organisational systems management theory]. M.: MPSI, 2005. 584 p.
4. Novikov D. A. *Metodologiya upravleniya* [Management methodology]. M.: Librokom, 2012. 128 p.
5. Novikov D. A. *Mekhanizmy funkcionirovaniya mnogourovnevnykh organizacionnykh sistem* [Mechanisms of multilevel organisational systems]. M.: Fond «Problemy upravleniya», 1999. 150 p.
6. Novikov D. A. Cvetkov A. V. *Mekhanizmy stimulirovaniya v mnogoelementnykh organizacionnykh sistemah* [Mechanisms of multilevel organisational systems]. M.: Apostrof, 2000. 184 p.
7. Novikov D. A. *Teoriya upravleniya organizacionnymi sistemami: vvodnyj kurs* [Organisational Systems Management Theory: An Introductory Course]. M.: IPU RAN, 2004. 81 p.
8. Novikov D. A., Gubko M. V. Management in organizations: collective decision-making / Proceedings of the 16-th International Conference

on Systems Engineering, Coventry, 2004, vol. 2, pp. 515–519.

9. Model' operativnogo upravleniya v prinyatii opornykh reshenij s uchyotom optimal'nosti [Operational management model in making optimality-based reference decisions] / M. M. Danilov,

M. A. Danilova, A. N. Denisov [et al.]. *Nauchnyj zhurnal «Pozhary i chrezvychajnye situacii: predotvrashchenie, likvidaciya»*, 2018, issue 3, pp. 94–101. DOI: 10.25257/FE.2018.3.94-101. EDN: YKWDID.

Данилов Михаил Михайлович

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

кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры пожарной тактики и службы (в составе УНК пожаротушения)

E-mail: mmdaniloff@mail.ru

Danilov Mikhail Mikhailovich

State Fire Academy of EMERCOM of Russia,
Russian Federation, Moscow

Ph.D. in Engineering, Associate Professor of the Department of Fire Tactics and Service (as part of the educational and scientific fire-fighting complex)

E-mail: mmdaniloff@mail.ru

Денисов Алексей Николаевич

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

доктор технических наук, профессор, профессор кафедры пожарной тактики и службы (в составе УНК пожаротушения)

E-mail: dan_aleks@mail.ru

Denisov Alexey Nikolaevich

State Fire Academy of EMERCOM of Russia,
Russian Federation, Moscow

Grand Ph.D. in Engineering, Professor of the Department of Fire Tactics and Service (as part of the educational and scientific fire-fighting complex)

E-mail: dan_aleks@mail.ru

Королев Павел Сергеевич

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

адъюнкт факультета подготовки научно-педагогических кадров Академии ГПС МЧС России

E-mail: pavelpavel2415@mail.ru

Korolev Pavel Sergeevich

State Fire Academy of EMERCOM of Russia,
Russian Federation, Moscow

Master of the Scientific-Pedagogical Staff Training Faculty of the Academy of the EMERCOM of Russia

E-mail: pavelpavel2415@mail.ru

**ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ СТРОИТЕЛЬСТВА
И ГОРОДСКОГО ХОЗЯЙСТВА
(ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ)
ECOLOGICAL SAFETY OF CONSTRUCTION AND URBAN MANAGEMENT (TECHNICAL)**

УДК 628.112

**СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РИСКА ОТ УПОТРЕБЛЕНИЯ ВОДЫ
ИЗ ВЕНДИНГОВЫХ АППАРАТОВ И РОДНИКОВ**

А. С. ЦВЕТКОВ¹, С. А. БУЙМОВА¹, А. Г. БУБНОВ^{1,2}, С. Д. БУЙМОВ³

¹ Ивановский государственный химико-технологический университет,
Российская Федерация, г. Иваново

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

³ МБОУ СШ № 28, Российская Федерация, г. Иваново

E-mail: alexsvet5@gmail.com, byumova@mail.ru, bubag@mail.ru, stas_buimov@mail.ru

В работе представлена сравнительная характеристика качества воды из родников и вендинговых аппаратов, результаты эколого-гигиенической оценки интегрального показателя качества проб воды, риска для здоровья населения на основе нормативных документов, доступных методик и градаций по оценке риска. Оценка риска здоровью населения затрудняется из-за отсутствия единой комплексной методики, по которой может быть проведено сравнение полученных результатов.

Ключевые слова: вода, загрязняющие вещества, вендинговые аппараты, родники, риск, потенциальная опасность, заболевания.

**COMPARATIVE CHARACTERISTICS OF THE RISK FROM THE USE
OF WATER FROM VENDING MACHINES AND SPRINGS**

A. S. TSVETKOV¹, S. A. BUIMOVA¹, A. G. BUBNOV^{1,2}, S. D. BUIMOV³

¹ Ivanovo State University of Chemistry and Technology,
Russian Federation, Ivanovo

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

³ Municipal budgetary educational institution "Secondary school № 28"

E-mail: alexsvet5@gmail.com, byumova@mail.ru, bubag@mail.ru, stas_buimov@mail.ru

The paper presents a comparative characteristic of the quality of water from springs and vending machines, the results of an environmental and hygienic assessment of the integral indicator of the quality of water samples, the risk to public health based on regulatory documents, available methods and gradations for risk assessment. Assessment of the risk to public health is difficult due to the lack of a single comprehensive methodology by which the results can be compared.

Key words: water, pollutants, vending machines, springs, risk, potential danger, diseases.

Введение

Деятельность по оценке риска для здоровья человека является важным направлением в современных условиях. Она заключается в

анализе потенциальных угроз здоровью населения, проживающего на территории определенной гидрогеохимической провинции. Пероральное воздействие некоторых соединений вносит наибольший вклад в неканцерогенный риск для здоровья различных возрастных групп. Сердечно-сосудистая система является одной из важ-

нейших критических систем, подверженных комбинированному воздействию токсикантов [1].

Оценка санитарно-гигиенической безопасности источников нецентрализованного водоснабжения всегда актуальна, поскольку указывает на проблемы загрязнения вод химическими соединениями, создающими токсикохимический фон, определяющий необходимость дальнейших действий. В связи с наличием в питьевой воде канцерогенных и неканцерогенных компонентов практически все городское население – взрослые и дети – подвержено риску для здоровья от питьевой воды [2]. По данным Федеральной службы государственной статистики на 2022 г., вклады в общую смертность населения Российской Федерации составляют: от болезней сердечно-сосудистой системы – 43,8 % (в том числе от ишемической болезни сердца (ИБС) – 23,8 %) и от болезней органов пищеварения – 5,4 % (в том числе от язвенной болезни (всех форм) – 0,6 %)¹.

Одной из важнейших задач для создания благоприятной обстановки для населения является его обеспечение качественной питьевой водой. Заболеваемость населения, вызванная пероральным применением питьевой воды, на которую воздействуют природные и техногенные факторы, приводит к необходимости оценки санитарно-гигиенических рисков [2].

Одним из наиболее популярных способов приобретения качественной питьевой воды в городе являются вендинговые аппараты. В зависимости от торговой марки в г. Иваново на розлив подаётся либо очищенная артезианская вода, поставляемая из скважин, либо доочищенная вода из централизованной системы водоснабжения. Менее популярным, но достаточно актуальным способом получения воды, являются родники, где изначально (на месте) отсутствует какая-либо водоподготовка.

Цель работы

Выполнить сравнительную характеристику риска употребления родниковых вод и воды из вендинговых аппаратов г. Иваново. Отсюда задачи работы:

- провести химический анализ воды, отобранной из родников и различных вендинговых аппаратов в г. Иваново;
- сопоставить полученные результаты химического анализа состава вод;

¹ Естественное движение населения Российской Федерации: Федеральная служба государственной статистики [Электронный ресурс]. URL: <https://rosstat.gov.ru/compendium/document/13269> (дата обращения 12.07.2023).

– оценить риск для населения при пероральном употреблении воды на основе экспериментальных данных, полученных для конкретных проб воды.

Материалы и методы исследования

Первоначально проводился химический анализ качества образцов вод (отбирались в 2021–2023 гг.) из родников и вендинговых аппаратов. В ходе анализа контролировались органолептические, общие показатели, содержание катионов и анионов в соответствии с утверждёнными методиками химического и физико-химического анализа согласно СанПиН 2.1.4.1074-01². Выбор контролируемых показателей качества воды был обусловлен гигиеническими требованиями, предъявляемыми к качеству питьевой воды (pH, SO₄²⁻, NO₃⁻, NO₂⁻ и др.), токсичностью соединений и их способностью концентрироваться в трофических цепях (Pb²⁺) и необходимостью наличия ряда элементов в человеческом организме, которые могут поступать вместе с водой и пищей (Mn²⁺, Feобщ, Cu²⁺, Sобщ и др.). Отбор проб для проведения химико-аналитического контроля качества воды был выполнен в соответствии с ГОСТ Р 59024-2020³.

Потенциальная опасность (ПО), как интегральный показатель качества воды, оценивалась по методике⁴ на основе расчёта 4-х факторов, определяющих интегральное состояние воды, как питьевой [3]. Потенциальный риск для здоровья населения оценивался в соответствии с Р. 2.1.10.1920-04⁵.

² СанПиН 2.1.4.1074-01 «Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества».

³ ГОСТ Р 59024-2020 (ISO 5667-1:2006, NEQ) (ISO 5667-3:2018, NEQ) «Вода. Общие требования к отбору проб» от 01.06.2022 № 59024-2020 // Официальное издание. М.: Российский институт стандартизации. 2022. с изм. и допол. в ред. от 01.01.2023.

⁴ Метод эколого-гигиенической оценки интегрального качества воды и риска здоровью населения. Рекомендован Минздравом РФ. Иваново – Санкт-Петербург, 2002.

⁵ Руководство по оценке риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду» от 05.03.2004 № 2.1.10.1920-04. М.: Федеральный центр государственного надзора Минздрава России. 2004 год г. с изм. и допол. в ред. от 05.03.2004.

(чем ближе индекс ПО качества воды к 100 % (что и означает потенциальную опасность от употребления данной воды в питьевых целях).

Усреднённые данные за год, полученные в ходе оценок величин компонентов $K_1 - K_4$, представлены в табл. 2 (приведены оценочные (расчётные) величины компонентов, характеризующие качество воды в комплексе; оценка каждого компонента включает в свою очередь учёт значений отдельных показателей

качества, каждый из которых имеет свою погрешность в определении; относительная суммарная погрешность 5–15 %). Отметим, что значения компонентов качества воды $K_1 - K_4$ из вендинговых аппаратов родников лучше значений (ниже), полученных для воды из родников, в 10-1000 раз, что свидетельствует о положительном уровне доочистки питьевой воды, поставляемой на продажу через водоматы.

Таблица 1. Результаты проведённого химического анализа проб воды из родников и вендинговых аппаратов (в долях от предельно допустимой концентрации)

Контролируемый показатель, ед. измерения	Годы	Источник пробоотбора					
		Родник № 1	Родник № 2	Родник № 3	«РЗПАВ»	«ПИЧАВ»	«ИЗВЧ»
Жёсткость, мг-экв/л	2021	1,13	0,94	0,53	0,07	0,07	0,05
	2022	1,10	0,80	0,47	0,42	0,21	0,20
	2023	1,10	0,80	0,47	0,36	0,21	0,41
СПАВ, мг/л	2021	1,24	1,94	1,08	показатель не контролировался		
	2022	0,44	1,34	0,40			
	2023	0,80	1,76	0,60			
NO ₃ ⁻ , мг/л	2021	0,52	1,53	0,87	показатель не контролировался		
	2022	0,51	1,40	0,59			
	2023	0,60	1,20	0,20			
Mn ²⁺ , мг/л	2021	0,11	0,18	0,08	0	0,10	0,06
	2022	0,10	0,18	0,08	0,28	0,12	0,35
	2023	0,15	0,10	0,10	1,10	1,78	0,70
Fe _{общ.} , мг/л	2021	0,38	0,27	0,23	1,43	1,20	1,50
	2022	0,30	0,30	0,21	1,53	0,85	0,40
	2023	0,30	0,40	0,30	0,40	0,46	0

Таблица 2. Результаты оценок качества воды из родников и вендинговых аппаратов

Компоненты качества, доли (%)	Годы	Источник пробоотбора					
		Родник №1	Родник №2	Родник №3	«РЗПАВ»	«ПИЧАВ»	«ИЗВЧ»
Благоприятность 0,2 (20 %) ∑ ИК ₁	2021	0,11	0,145	0,08	0,0009	0,0007	0,001
	2022	0,06	0,115	0,05	0,0009	0,0006	0,0003
	2023	0,05	0,07	0,03	0,0021	0,0037	0,0005
Безвредность 0,3 (30 %) ∑ ИК ₂	2021	0,06	0,183	0,1	0,0002	2·10 ⁻⁵	2·10 ⁻⁵
	2022	0,06	0,18	0,07	0,0001	0,0001	6,8·10 ⁻⁵
	2023	0,025	0,057	–	–	–	–
Физиологическая полноценность 0,3 (30 %) ∑ ИК ₃	2021	0,105	0,13	0,06	0,0004	0,0006	0,001
	2022	0,103	0,131	0,057	0,0004	0,0006	0,0006
	2023	0,04	0,05	0,02	0,0009	0,0025	0,003
Безопасность 0,2 (20 %) ∑ ИК ₄	2021	–	–	–	6·10 ⁻⁵	0,0028	0,0018
	2022	–	–	–	–	–	–
	2023	–	–	–	–	–	–

Из рис. 2 следует, что наиболее безопасной за весь период исследования является вода из водоматов торговой марки «РЗПАВ», т.к. для этой воды характерна наименьшая величина ПО, находящаяся в диапазоне значений $3,9 \cdot 10^{-4} \div 8,5 \cdot 10^{-4}$. В то же время вода из родника № 2 является самой неблагоприятной для употребления (величина ПО принимает значения в диапазоне $0,17 \div 0,46$).

Исходя из величины ПО, можно оценить вероятность возникновения различных

заболеваний (язвенная болезнь желудка и двенадцатиперстной кишки, хронический гастрит, холецистит, ИБС, гипертоническая болезнь, инфаркт миокарда и хронические заболевания сердца и т.д.) у человека в результате регулярного употребления воды из принятых для анализа источников – на рис. 3 представлены полученные вероятности возникновения заболеваний у населения за 2022 г. Схожие диаграммы получены для 2021 и 2023 гг.

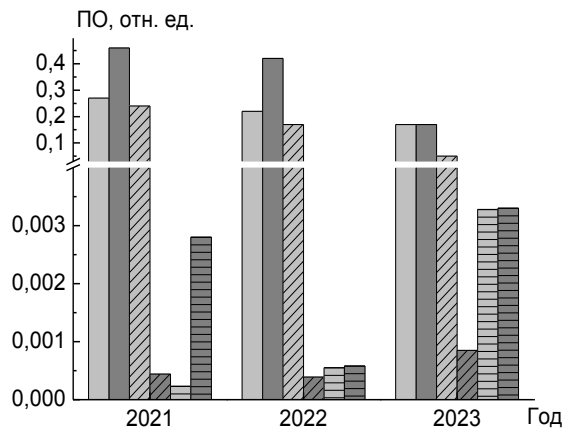


Рис. 2. Величина потенциальной опасности воды из контролируемых источников

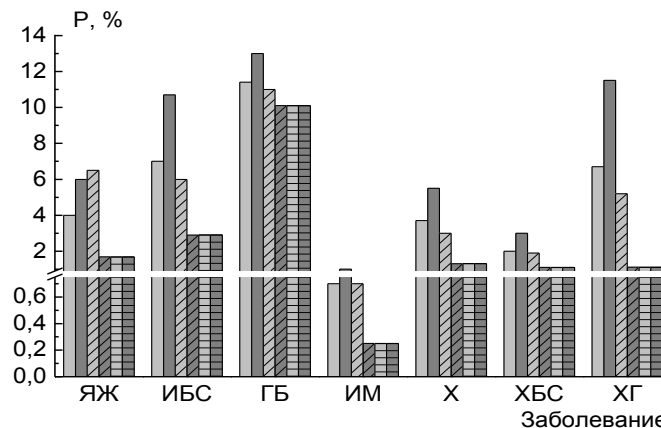


Рис. 3. Вероятность возникновения различных заболеваний у населения в 2022 году при регулярном употреблении воды



ЯЖ – язва желудка и двенадцатиперстной кишки, ИБС – ишемическая болезнь сердца, ГБ – гипертоническая болезнь, ИМ – инфаркт миокарда, Х – холецистит, ХБС – хронические болезни сердца, ХГ – хронический гастрит

Отметим, что вероятности возникновения заболеваний при употреблении воды из вендинговых аппаратов ниже, чем из родников. Особое внимание стоит обратить на вероятность возникновения гипертонической болезни (при заболевании от употребления воды) для всех отобранных проб, которые принимают значения $10,1 \div 13$ %. Вероятность возникновения ИБС и хронического гастрита особенно велика для пробы воды из родника № 2 и составляет 10,7 % и 11,5 % соответственно. Из представленной диаграммы видно, что при постоянном употреблении воды из родников и вендинговых аппаратов данные значения превышают допустимый уровень риска (10^{-4}) при этом риск возникновения инфаркта миокарда минимален, но также не допустим ($0,25 \div 1$ %).

Оценка риска производилась, с учётом подразделения потенциального риска на риск немедленного действия и риск длительного (хронического) воздействия. Согласно Р. 2.1.10.1920-04, при определении риска немедленного действия, или «развития неблагоприятных органолептических эффектов, учитываются вещества с органолептическим лимитирующим признаком вредности» (например, Cl^- , SO_4^{2-} , Zn^{2+}), а при оценке риска развития длительной (хронической) интоксикации – «вещества с органолептическим и санитарно-токсикологическим лимитирующим признаком вредности» (например, NH_4^+ , Ni^{2+} , Al^{3+}). Анализ табл. 3 показывает:

– самое высокое значение показателей риска немедленного действия было характерно для 2021 г., а его последующее уменьшение позволяет предположить, что торговые компании либо изменили место водозабора артезианской воды, либо доработали систему доочистки поставляемой для продажи воды;

– питьевая вода из водоматов с точки зрения безвредности лучше родниковой, а самой безопасной к употреблению является питьевая вода из водомата торговой марки «РЗПАВ» за весь период исследования;

– наиболее вредной для употребления является вода из родника № 2.

Помимо потенциального риска были получены значения пожизненного индивидуального риска от употребления воды данного качества. Согласно расчётам, для родников пожизненный индивидуальный риск за весь период составил:

для свинца (Pb^{2+}) – $8,7 \cdot 10^{-7}$ (год $^{-1}$),
для кадмия (Cd^{2+}) – $8,6 \cdot 10^{-6}$ (год $^{-1}$),
для хрома ($\text{Cr}_{\text{сумм}}$) – $6 \cdot 10^{-5}$ (год $^{-1}$).

Для водоматов значения пожизненного индивидуально риска получились выше, чем для родников:

Pb^{2+} и Cd^{2+} – $1 \cdot 10^{-4}$ (год $^{-1}$),
 $\text{Cr}_{\text{сумм}}$ – $5 \cdot 10^{-4}$ (год $^{-1}$).

Можно предположить, что в основе полученных для вендинговых аппаратов рисков большое значение оказывают материалы, из которых производятся трубы аппаратов, по которым вода поступает потребителю.

Таблица 3. Итоговые значения показателей риска, мг/(кг_{веса человека} · сут.)

Год	Тип потенциального риска	Источник пробоотбора					
		Родник № 1	Родник № 2	Родник № 3	«РЗПАВ»	«ПИЧАВ»	«ИЗВЧ»
2021	Риск немедленного действия	0,70	1,88	0,32	0,487	3,43	6,81
	Риск длительного воздействия	11,87	14,33	4,23	0,001	0,0006	0,001
2022	Риск немедленного действия	0,73	1,54	0,26	0,027	0,527	0,41
	Риск длительного воздействия	13,1	16,04	3,89	0,033	0,01	0,01
2023	Риск немедленного действия	0,99	2,20	0,45	0,024	0,055	0,07
	Риск длительного воздействия	9,97	13,25	2,10	0,03	0,09	0,03

Примечание: относительная суммарная погрешность значений риска 5-15 %

Результаты оценки величины популяционного риска (R_{popul}) от употребления родниковой воды для жителей города Иваново из рассматриваемых родников составили за весь период исследования: Pb^{2+} (0,80 чел./год), Cd^{2+} (7,94 чел./год), $Cr_{сум}$ (54,87 чел./год). Результаты расчётов R_{popul} от употребления питьевой воды из вендинговых аппаратов за весь период исследования составили: Pb^{2+} (11,6 чел./год), Cd^{2+} (11,5 чел./год), $Cr_{сум}$ (51,3 чел./год).

Согласно принятым в России критериям приемлемости риска, представляющим собой вероятность одного фатального случая (одной смерти) в год, полученные риски для воды родников от присутствия в ней соединений Pb^{2+} (для взрослого человека при хроническом воздействии) можно квалифицировать, как «минимальный риск»; для соединений Cd^{2+} – «риск приемлем без ограничений» (низкий риск), для присутствия в воде всех соединений $Cr_{сум}$ – как «средний риск»; для воды из вендинговых аппаратов (для всех указанных выше соединений) – «риск приемлем лишь в особых обстоятельствах». Стоит отметить, что нормативными документами Роспотребнадзора (например, Р. 2.1.10.1920-04), в таких случаях «требуется детальное обоснование приемлемости».

Другим вариантом для сравнения рисков является порядковая шкала, разработанная Гарвардским институтом международного развития (США) [5], согласно которой оценённые нами значения риска для различных групп населения (взрослых и детей раннего возраста) можно отнести к низкому риску (по соединениям Pb^{2+}), к относительно низкому риску (по соединениям Cd^{2+}) и к среднему риску (по содержанию $Cr_{общ}$). Для воды из вендинговых аппаратов – к относительно высокому и высокому (по содержанию Pb^{2+} , Cd^{2+} , $Cr_{общ}$). В соответствии со шкалой для ранжирования риска смерти из [6] значения полученных в расчете рисков входят в категории 3–4, что относится к высокому уровню риска.

Отметим, что оценка риска для здоровья населения проводилась нами и в соответствии с методическими подходами, предложенными Авериным Г. В. и Звягинцевой Г. В. из Донецкого национального технического уни-

верситета (ДонНТУ) [7]. Значения риска для человека при хроническом воздействии оценивались для средне и наименее уязвимых групп населения. Нижняя граница при расчёте оказалась отрицательной, что свидетельствует о невозможности оценки риска по данной методике (получаются некорректные данные для родниковой воды и воды из вендинговых аппаратов (например, отрицательные значения величин рисков)). Методический подход [6] для оценки риска не может быть рекомендован к применению для данных объектов исследования, т.к. оказалось, что им можно пользоваться только для оценки верхних границ риска.

Таким образом, в настоящее время до сих пор нет единой методики, по которой можно оценивать и ранжировать полученные данные в соответствии с уровнем риска («приемлем»/«неприемлем») от употребления воды определённого качества, поэтому необходимо проводить комплексную оценку риска по большому количеству веществ, поступающих в организм различными путями (перорально, кожно, ингаляционно), что затрудняет процесс определения негативных последствий и занимает продолжительное время.

Выводы

1. Установлено повышенное содержание соединений марганца и железа в пробах питьевой воды из вендинговых аппаратов, СПАВ и нитратов в пробах воды из родников, а также отклонение от нормы показателя жёсткости для воды из родников.

2. Проведена сравнительная оценка величин потенциальной опасности воды из водоматов и родников, оценены вероятности возникновения заболеваний; показан возможный высокий уровень развития ИБС, гипертонической болезни и хронического гастрита и минимальный уровень возникновения инфаркта миокарда.

3. Оценённые значения показателей индивидуального риска позволяют говорить о том, что питьевая вода из вендинговых аппаратов безопаснее, чем из родников. Вместе с тем, ввиду большего числа лиц, пользующихся водоматами, полученные величины для популяционного риска говорят об обратном.

Список литературы

1. Новиков Д. С., Фролов Ю. Д. Оценка риска здоровью, ассоциированного с употреблением воды подземных источников Апшеронского комплекса Приэльтона // Экология человека. 2022. № 1 (57). С. 73–81.

2. Оценка канцерогенного и неканцерогенного рисков здоровью, обусловленных качеством питьевой воды родников аридной зоны / А. В. Косарев, Д. Е. Иванов, А. Н. Микеров, [и др.] // Гигиена и санитария. 2020. Т. 99. № 11. С. 1294–1300.

3. Цветков А. С., Буймова С. А., Бубнов А. Г. Безопасность питьевой воды в вендинговых аппаратах // Современные проблемы гражданской защиты. 2023. № 2 (47). С. 46–53.

4. Цветков А. С., Буймова С. А., Бубнов А. Г. Качество воды из вендинговых аппаратов и водозаборных колонок на территории г. Иваново // Наставничество и экология: сборник научных трудов Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов, молодых ученых, преподавателей, приуроченной к IX Ежегодному молодежному фестивалю в области устойчивого развития ВУЗЭКОФЕСТ. Ульяновск: УЛГТУ. 2023. С. 86–90.

5. Буймова С. А., Бубнов А. Г. Применение показателей риска в процедурах подтверждения соответствия качества продуктов детского питания // Гигиена и санитария. 2016. № 95 (3). С. 281–286.

6. Звягинцева Г. В. Оценка екологічних ризиків при забрудненні водних об'єктів (на прикладі рік та водоймищ Донецької області) // Вісник Донецького університету. Серія природничі науки. 2007. № 2. С. 330–337.

References

1. Novikov D. S., Frolova Yu. D. Ocenka riska zdoroviu, asociirovannogo s upotrebleniem void podzemnih istochikov Apsheronского kom-

pleksa Prieltonia [Assessment of health risk associated with the use of water from underground sources of the Apsheron complex of Prieltonya]. *Ecologia cheloveka*, 2022, vol. 1 (57), pp. 73–81.

2. Ocenka kancerogenogo i nekancerogenogo riskov zdoroviu, obyslovlennih kachestvom pitievoi void rodnikov aridnoi zoni [Assessment of carcinogenic and non-carcinogenic health risks due to the quality of drinking water from springs in the arid zone] / A. V. Kosarev, D. E. Ivanov, A. N. Mikerov [et al.]. *Gigiena i sanitaria*, 2020, vol. 11. issue 11, pp. 1294–1300.

3. Cvetkov A. S., Buimova S. A., Bubnov A. G. Bezopasnost pitievoy vodi v vendingovih apparatah [Safety of drinking water in vending machines]. *Sovremennye problemi grazhdanskoj zashhiti*, 2023, vol. 2 (47), pp. 46–53.

4. Cvetkov A. S., Buimova S. A., Bubnov A. G. Kachestvo vodi iz vendingovih apparatov i vodozabornih kolonok na territorii g. Ivanovo [Quality of water from vending machines and standpipes in Ivanovo]. *Nastavnichestvo i ekologiya: sbornik naychnih trydov Mezgdynarodnoi naychno-practicheskoi konferencii stydentov, aspirantov, molodih ychenih, prepodavatelei, priyochennoi k IX Egegodnomu molodegdnomy festivalu v oblasti ystoichivogo razvitia VYZEKOFEST*. Ylianovsk: UIGTY, 2023, pp. 86–90.

5. Byimova S. A., Bubnov A. G. Primenenie pokazatelei riska v procedyrah podtvergdenia sootvetstvia kachestva prodyktov detskogo pitania [Application of risk indicators in the procedures for confirming the conformity of the quality of baby food]. *Gigiena i sanitaria*, 2016. vol. 95 (3), pp. 281–286.

6. Zviagenceva G. V. Ocenka ekologicheskikh riskov pri zagriaznenii vodnih obiekto (na primere rek i vodohranilishh Doneckoi oblasti [Assessment of environmental factors in case of pollution of water bodies (on the example of rivers and reservoirs of the Donetsk region)]. *Vestnik Doneckogo yuniversiteta. Seria prirodnii nauki*, 2007, issue 2, pp. 330–337.

Цветков Александр Сергеевич

Ивановский государственный химико-технологический университет,
Российская Федерация, г. Иваново,
магистрант 2-го года обучения, кафедра промышленной экологии
E-mail: alextsvet5@gmail.com

Tsvetkov Alexander Sergeevich

Ivanovo State University of Chemical Technology,
Russian Federation, Ivanovo,
Master student of the 2st year of study, Department of Industrial Ecology
E-mail: alextsvet5@gmail.com

Буймова Светлана Александровна

Ивановский государственный химико-технологический университет,
Российская Федерация, г. Иваново,
кандидат химических наук, доцент, доцент кафедры промышленной экологии,
E-mail: byumova@mail.ru,

Byumova Svetlana Alexandrovna

Ivanovo State University of Chemistry and Technology,
Russian Federation, Ivanovo,
Candidate of Chemical Sciences, associate Professor
E-mail: byumova@mail.ru

Бубнов Андрей Германович

ФГБОУ ВО Ивановский государственный химико-технологический университет,
Российская Федерация, г. Иваново

Доктор химических наук, доцент, профессор кафедры промышленной экологии
Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,
Российская Федерация, г. Иваново

Доктор химических наук, доцент, профессор кафедры эксплуатации пожарной техники,
средств связи и малой механизации

E-mail: bubag@mail.ru

Bubnov Andrey Germanovitch

Ivanovo State University of Chemistry and Technology,
Russian Federation, Ivanovo

Doctor of Chemical Sciences, associate Professor, Professor of the Department of Industrial Ecology
Federal State Budget Educational Establishment of Higher Education «Ivanovo Fire Rescue Academy
of State Firefighting Service of Ministry of Russian Federation for Civil Defense, Emergencies
and Elimination of Consequences of Natural Disasters»,
Russian Federation, Ivanovo

Doctor of Chemical Sciences, associate Professor, Professor of the Department
of Fire Equipment Operation, communications and small-scale mechanization

E-mail: bubag@mail.ru

Буймов Станислав Дмитриевич

МБОУ СШ № 28,
Российская Федерация, г. Иваново,
учащийся

E-mail: stas_buimov@mail.ru

Buimov Stanislav Dmitrievich

Municipal budgetary educational institution "Secondary school № 28"
Russian Federation, Ivanovo,
student

E-mail: stas_buimov@mail.ru

**ПОЖАРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ
(ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ)
FIRE SAFETY (TECHNICAL)**

УДК 629.36

**ПЕРСПЕКТИВА ПРИМЕНЕНИЯ ЭЛЕКТРОМОБИЛЕЙ
В ПОДРАЗДЕЛЕНИЯХ ПОЖАРНОЙ ОХРАНЫ МЧС РОССИИ**

В. А. АРИСТАРХОВ, О. В. ДВОЕНКО, Д. А. ПЕРЕДНЯ, А. В. САВОНИНА
Академия Государственной противопожарной службы МЧС России,
Российская Федерация, г. Москва
E-mail: AristarkhovVA@yandex.ru, dvoenko_oleg@mail.ru, darya4252@mail.ru,
angelina.savonina@gmail.com

В современном мире соблюдению экологических норм и стандартов уделяется повышенное внимание. В связи с этим, все большее развитие приобретают электромобили. С появлением первых грузовых моделей электромобилей возник вопрос о целесообразности их применения в различных сферах жизнедеятельности человека. В статье отражены перспективы использования грузовых моделей электромобилей в подразделениях пожарной охраны МЧС России, обоснована актуальность данного исследования, проведено сравнение электромобилей с двигателями внутреннего сгорания. Авторами рассмотрены различные типы существующих электромобилей. Приведены преимущества и недостатки электромобилей с позиции их использования в реагирующих пожарно-спасательных подразделениях.

В статье представлены предложения по вариантам создания и использования электромобилей в подразделениях пожарной охраны МЧС России. Создание опытного образца российского пожарного электромобиля является актуальным направлением для проведения исследований. Целесообразным является создание автомобиля первой помощи на электроплатформе GAZelle e-NN. Создание автомобиля первой помощи позволит получить практический опыт применения пожарного электромобиля при различных режимах работы, и послужит базой для формирования направлений дальнейшего развития технологии создания и применения пожарных электромобилей в подразделениях пожарной охраны МЧС России.

Ключевые слова: электромобиль, электрический транспорт, пожарная охрана, пожарный автомобиль, тушение пожаров.

**THE PROSPECT OF USING ELECTRIC VEHICLES IN THE FIRE SERVICE
OF THE MINISTRY OF EMERCOM OF RUSSIA**

V. A. ARISTARKHOV, O. V. DVOENKO, D. A. PEREDNYA, A. V. SAVONINA
The State Fire Academy of Ministry of Russian Federation for Civil Defense, Emergencies
and Elimination of Consequences of Natural Disasters
E-mail: AristarkhovVA@yandex.ru, dvoenko_oleg@mail.ru, darya4252@mail.ru, ange-
lina.savonina@gmail.com

In the modern world, increased attention is paid to compliance with environmental norms and standards. In this regard, electric vehicles are becoming increasingly developed. With the advent of the first cargo models of electric vehicles, the question arose about the feasibility of their use in various spheres of human activity. The article reflects the prospects of using cargo models of electric vehicles in the fire service of the Ministry of Emercom of Russia, substantiates the relevance of this study, compares electric vehicles with internal combustion engines. The authors consider various types of existing electric vehicles. The advantages and disadvantages of electric vehicles from the point of view of their use in fire service units are given.

The article presents proposals on options for the creation and use of electric vehicles in the fire service of the Ministry of Emercom of Russia. The creation of a prototype of a Russian electric fire vehicles is an urgent area for research. It is advisable to create a first-aid vehicle on the GAZelle e-NN electric platform. The creation of a first-aid vehicle will allow you to gain practical experience in the use of a fire-fighting electric vehicle under various operating modes, and will serve as a basis for the formation of directions for further development of technology for the creation and use of fire-fighting electric vehicles in the fire service of the Ministry of Emercom of Russia.

Key words: electric vehicles, electric transport, fire service, fire vehicle, extinguish fire

Современный мир характеризуется очень быстрым развитием науки и техники, чему способствует, в первую очередь стремительное развитие информационных технологий. Применение информационных технологий во много раз сокращает время от момента формирования «идеи» до ее практического воплощения. На наших глазах происходит эволюция различных машин и механизмов. Заметны происходящие изменения и на улицах наших населенных пунктов, особенно в крупных городах. Сейчас уже не вызывают удивления автомобили, передвигающиеся за счет электрической энергии. Становится привычным электрический городской пассажирский

транспорт – электробусы. Вместе с тем до настоящего времени не до конца изученным остается вопрос эффективности использования грузовых электромобилей, в том числе в интересах пожарной охраны, что и является целью настоящей работы.

Транспортная стратегия Российской Федерации до 2030 года с прогнозом на период до 2035 года¹ свидетельствует о том, что в перспективе будет наблюдаться рост количества альтернативного транспорта.

На рис. 1 приведено прогнозирование соотношения долей различных типов электромобилей в мире к 2035 году [1].

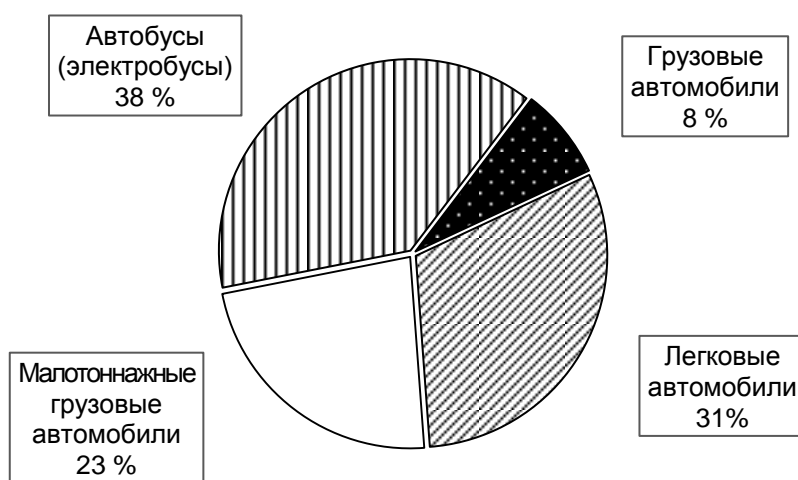


Рис. 1. Соотношение долей различных типов электромобилей в мире к 2035 году²

Как видно из представленной на рис. 1 диаграммы, наименьшая доля в парке транспортных средств будет принадлежать грузовым электромобилям. В данном случае речь идет о транспортных средствах, относящихся в соответствии с Техническим регламентом³ к категории N2 и N3 (максимальной массой свыше 3,5 т).

Данное состояние дел обусловлено имеющимися ограничениями технологий, применяемых для создания электромобилей.

¹ Распоряжение Правительства Российской Федерации от 27.11.2021 № 3363-р «Транспортная стратегия Российской Федерации до 2023 года с прогнозом на период до 2035 года.

² Сколько электромобилей в мире: сводная анали-

тика на конец 2021 года. Информационный портал про электромобили. URL: <https://e-cars.tech/analitika/skolko-elektromobiley-v-mire-svodnaya-analitika-nakonets-2021-goda/> (Дата обращения 15.03.2023)

³ Решение Комиссии Таможенного союза от 09.12.2011 № 877 о принятии технического регламента Таможенного союза «О безопасности колесных транспортных средств».

Анализируя различные источники [2–6], можно выделить следующие типы электромобилей:

– **аккумуляторные электромобили** (в иностранных источниках – Battery Electric Vehicles или сокращенно BEV). Данные транспортные средства полностью приводятся в движение электроэнергией. Они не имеют двигателя внутреннего сгорания, соответственно не нуждаются в каком-либо жидком топливе. В целях обеспечения необходимого запаса хода в аккумуляторных электромобилях обычно используются аккумуляторные батареи большой емкости. В настоящее время запас хода легковых аккумуляторных электромобилей обычно ограничена от 200 до 350 км с полной зарядкой, электробусов от 40 до 60 км. К данному типу транспортных средств относятся как легковые автомобили (Nissan Leaf Tesla Model S), так и малотоннажные грузовые автомобили и электробусы (КАМАЗ-6282);

– **аккумуляторные электромобили с увеличенным запасом хода** (в иностранных источниках Extended Range Electric Vehicles или сокращенно ER-EV). Указанные транспортные средства отличаются от аккумуляторных автомобилей наличием дополнительного двигателя внутреннего сгорания, который при необходимости заряжает батареи транспортного средства. Использование дополнительного малогабаритного двигателя позволяет увеличить запас хода. Стоит отметить, что двигатель внутреннего сгорания в данном случае используется только для зарядки тяговой батареи и не может использоваться для привода ведущих колес. Примером автомобиля данного типа может выступать BMW i3;

– **подзаряжаемые гибридные электромобили** (в иностранных источниках Plug-In Hybrid Electric Vehicles или сокращенно PHEV). Транспортные средства данного типа могут приводиться в движение как имеющимся двигателем внутреннего сгорания, так и предусмотренной конструкцией электрическим двигателем. Тяговая батарея заряжается от двигателя внутреннего сгорания во время движения автомобиля, а также может заряжаться от внешнего источника электроэнергии. К электромобилям данного типа относится Mitsubishi Outlander PHEV;

– **гибридные электромобили** (в иностранных источниках Hybrid Electric Vehicle или сокращенно HEV) – гибридные транспортные средства приводятся в движение комбинацией двигателя внутреннего сгорания и электродвигателя. Разница с подзаряжаемыми гибридными электромобилями состоит в том, что тяговая батарея транспортных средств (Toyota Prius) не может подключаться к электрической сети и

заряжается от генератора, приводимого в действие двигателем внутреннего сгорания, или используя режим рекуперации при торможении транспортного средства;

– **электромобили с топливными элементами** (в иностранных источниках Fuel Cell Electric Vehicles или сокращенно FCEV), снабженные электрическим двигателем. Двигатель получает электрический ток от водородных топливных элементов и тягового аккумулятора. Стоит подчеркнуть, что запас хода транспортных средств данного типа (например, южнокорейского производства Hyundai Nexa FCEV) может составлять, по оценке производителя, свыше 600 км;

– **транспортные средства с электрической трансмиссией** (electric transmission vehicle – ETV). К транспортным средствам данного типа относятся карьерные самосвалы БелАЗ, специальные колесные шасси большой грузоподъемности. В конструкции данного типа электромоторы, находящиеся в колесах транспортных средств, приводятся в действие электричеством, вырабатываемым дизельной электростанцией. Дизельная электростанция состоит из силового генератора, состыкованного с дизелем. Данная конструкция не предусматривает наличие аккумуляторных батарей [7], так как с повышением мощности двигателякратно возрастает стоимость аккумуляторных батарей. При этом отрицательным образом на срок службы сказываются и тяжелые условия эксплуатации данных транспортных средств.

Как видно из приведенной классификации, в настоящее время наибольшее развитие получают транспортные средства легкого класса, при этом конструкция транспортных средств тяжелого класса, большей частью, основана на типе BEV или ETV.

Различные подходы к конструкции электромобилей обусловлены попытками конструкторов найти наиболее оптимальный вариант, который позволяет максимально реализовать преимущества электромобилей, к которым, в первую очередь относятся:

• **экологичность** – электромобили, как правило, не производят выбросов загрязняющих веществ (CO, NO) с отработавшими газами, или их содержание минимально. Оптимально использование электромобилей в крупных населенных городах, в условиях плотной застройки и больших транспортных потоков, с учетом минимального урона окружающей среде. Кроме того, считается, что производство электромобилей основано на максимальном ресурсосбережении и экологичности. Однако, необходимо учитывать тот факт, что элементы электромобилей изготавливаются из различных пластиков, в конструкции использу-

ются аккумуляторные батареи, производство и утилизация которых негативным образом влияет на окружающую среду;

- **простота конструкции** – конструкция электромобилей подразумевает отсутствие традиционной трансмиссии, соответственно уменьшается общее количество элементов конструкции. Упрощение конструкции приводит к снижению объемов трудозатрат на проведение технического обслуживания. Более простая конструкция облегчает управление транспортным средством, что позволяет существенно сократить сроки освоения данного типа техники водителем в составе;

- **надежность** – уменьшение количества элементов ведет к снижению количества отказов, более качественному их предупреждению. Стоит отметить, что аккумуляторные электромобили, в конструкции которых отсутствует привычный двигатель внутреннего сгорания, не подвержены влиянию качества топлива и, соответственно, различным негативным последствиям;

- **минимальные эксплуатационные расходы** – расходы на содержание транспортного средства складываются из расходов на заправку (зарядку) транспортного средства, стоимость технического обслуживания и затрат на подготовку водителей. Как показывают проводимые исследования⁴ эксплуатационные расходы на содержание электромобилей в общем случае ниже, чем содержание автомобиля с двигателем внутреннего сгорания;

- **комфорт** – применяемые в конструкции электромобилей технологии позволяют свести практически к минимуму вибрации и шум двигателя, обеспечить лучшую управляемость и прогнозируемость поведения транспортного средства;

- **эффективность** – использование в конструкции электромобилей электромоторов, обладающих отличными от двигателей внутреннего сгорания характеристиками, упрощение конструкции, как показывают проводимые исследования [2], позволяют достичь значения коэффициента полезного действия электромобилей до 70 %.

Вместе с тем, широкому распространению электромобилей препятствует ряд недостатков [8], которые, относятся к электромобилем в конструкции которых имеются аккумуляторные батареи:

- **ограниченный запас хода** – запас хода с полной зарядкой легковых электро-

мобилей составляет, как правило, до 350 км, электробусов до 60 км. В целях увеличения запаса хода, в настоящее время, предлагаются различные конструктивные решения, в первую очередь связанные с использованием дополнительного двигателя внутреннего сгорания;

- **продолжительное время зарядки** – полная зарядка аккумуляторных батарей в обычных условиях в среднем составляет 4–8 часов. В настоящее время разработаны и существуют «ультрабыстрые» зарядные станции, которые позволяют обеспечить подзарядку батарей в течение 15-20 минут. Однако такие станции, как правило требуют значительных затрат на их строительство (обустройство), при этом полная зарядка батареи потребует большего времени;

- **слаборазвитая зарядная инфраструктура** – создание зарядных станций, особенно водородных, требует привлечения значительных финансовых средств, что возможно в настоящее время только в условиях крупных городов, формирующих достаточный спрос;

- **значительная стоимость батарей** – стоимость аккумуляторных батарей возрастает за счет применения более сложных материалов. Кроме того, стоимость аккумуляторных батарей обусловлена затратами на последующую утилизацию;

- **значительная масса и габариты аккумуляторных батарей** – в связи с обеспечением необходимой емкости, аккумуляторные батареи обладают достаточно большими габаритами и массой (вес аккумуляторного блока электромобилей Tesla Model S составляет 540 кг), в связи с чем их снятие в течение заявленного срока службы не предусматривается.

На основании описанных типов электромобилей, рассмотренных их преимуществ и недостатков можно сделать вывод о возможности применения электромобилей в подразделениях пожарной охраны. В первую очередь речь идет об использовании легковых электромобилей в качестве оперативно-служебных автомобилей или транспортных средств органов надзорной деятельности. При принятии решения об использовании легковых электромобилей, ограничением будет выступать только их стоимость, наличие и развитость зарядной инфраструктуры.

Вместе с тем, для подразделений пожарной охраны интересен вопрос применения именно грузовых электромобилей, как шасси для создания пожарного автомобиля. Стоит отметить, что идея создания и использования пожарных электромобилей не нова – в начале

⁴ URL: <https://newatlas.com/rosenbauer-linz-kreisel-electric-fire-truck/54088/> (Дата обращения 20.03.2023)

XX века в Вене заступали на «боевое дежурство» переднеприводные пожарные машины с электротрансмиссией компании «Lohner-Porsche». Данные автомобили обладали передовой на тот момент времени конструкцией, обеспечивающей необходимую скорость передвижения и небольшими размерами.

На сегодняшний момент австрийская фирма Rosenbauer уделяет большое внимание использованию электропривода для создания пожарных электромобилей. Так в 2018 году⁴ фирмой Rosenbauer разработан пожарный электромобиль легкого класса на шасси Mercedes Sprinter, что соответствует пожарному автомобилю L-класса. Отличительными характеристиками данного транспортного средства являются электродвигатель мощностью 120 кВт, четыре батареи суммарной емкостью 86 кВт·ч и общим весом 620 кг. Запас хода данного электромобиля составляет около 160 км. Также фирмой Rosenbauer представлен пожарный электромобиль RT (Revolutionary Technology), который позиционируется как гибридное муниципальное транспортное средство грузоподъемностью до 18 тонн (рис. 2). В конструкции данного пожарного электромобиля предусмотрено наличие дизельного двигателя, использующегося для зарядки аккумуляторных батарей. Кроме того, предусмотрена возможность зарядки батарей от внешних источников, что позволяет отнести данную конструкцию к переходной модели, занимающую промежуточное положение между ранее рассмотренными типом BEV и типом HEV. Стоит отметить, что данное транспортное средство фактически соответствует пожарному автомобилю M-класс или S-класса⁵.

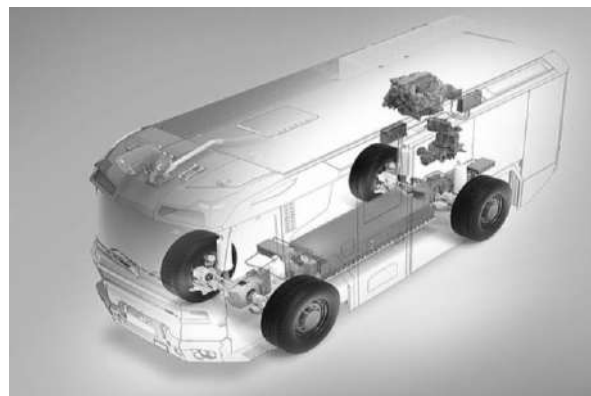


Рис. 2. Шасси пожарного электромобиля Rosenbauer RT⁵

Таким образом, рассмотренные разработки подтверждают актуальность и возможность рассмотрения вопроса создания отечественного пожарного электромобиля.

Принимая во внимание опыт фирмы Rosenbauer, для получения собственного практического опыта создания и применения пожарных электромобилей, по мнению авторов, в настоящее время целесообразно рассматривать создание опытного пожарного электромобиля в виде автомобиля первой помощи (АПП-Э). Данный тип пожарных автомобилей предназначен для решения широкого круга задач, в том числе перевозки и подачи жидких огнетушащих веществ, личного состава, пожарно-технического вооружения и оборудования, проведения действий при тушении пожаров в начальной стадии и первоочередных аварийно-спасательных работ.

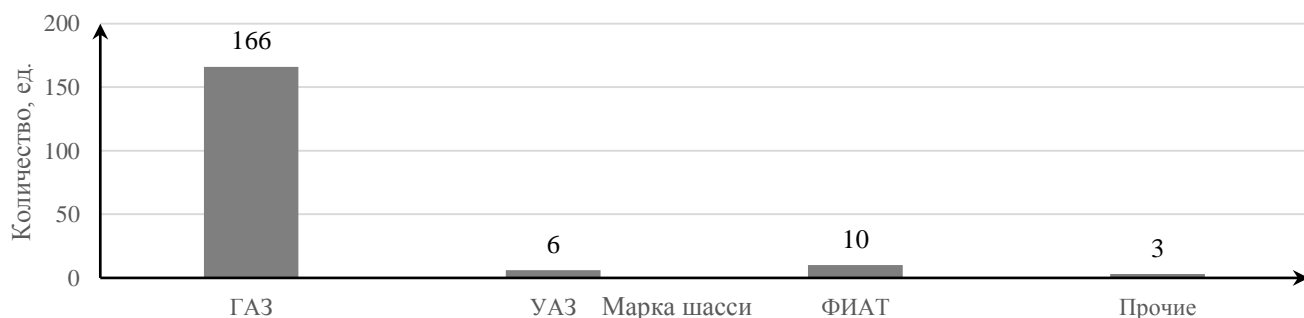


Рис. 3. Марки шасси пожарных автомобилей первой помощи, состоящих на снабжении МЧС России

⁵. URL: <https://www.rosenbauer.com/en/int/rosenbauer-world/vehicles/municipal-vehicles/rt> (Дата обращения 15.03.2023)

В соответствии с данными, содержащимися в Цифровой системе учета технического состояния пожарной, спасательной, специальной и авиационной техники МЧС России в подразделениях МЧС России имеется 185 ед. пожарных автомобилей первой помощи.

Основной маркой шасси пожарных автомобилей первой помощи является ГАЗ – 90%, при этом доля иных марок очень мала: ФИАТ – 5 %, УАЗ – 3 % и прочие – 2 % (рис. 3).

Наибольшее количество в составе парка автомобилей первой помощи, а именно – порядка 27 % составляют АПП-0,5-5(2705) (рис. 4а), однако данные автомобили выпускались до 2012 года. К современным образцам (10 % парка) можно отнести АПП-0,8-40/4 NATISK (С42R33) (рис. 4б). Технические характеристики данных автомобилей представлены в табл. 1.

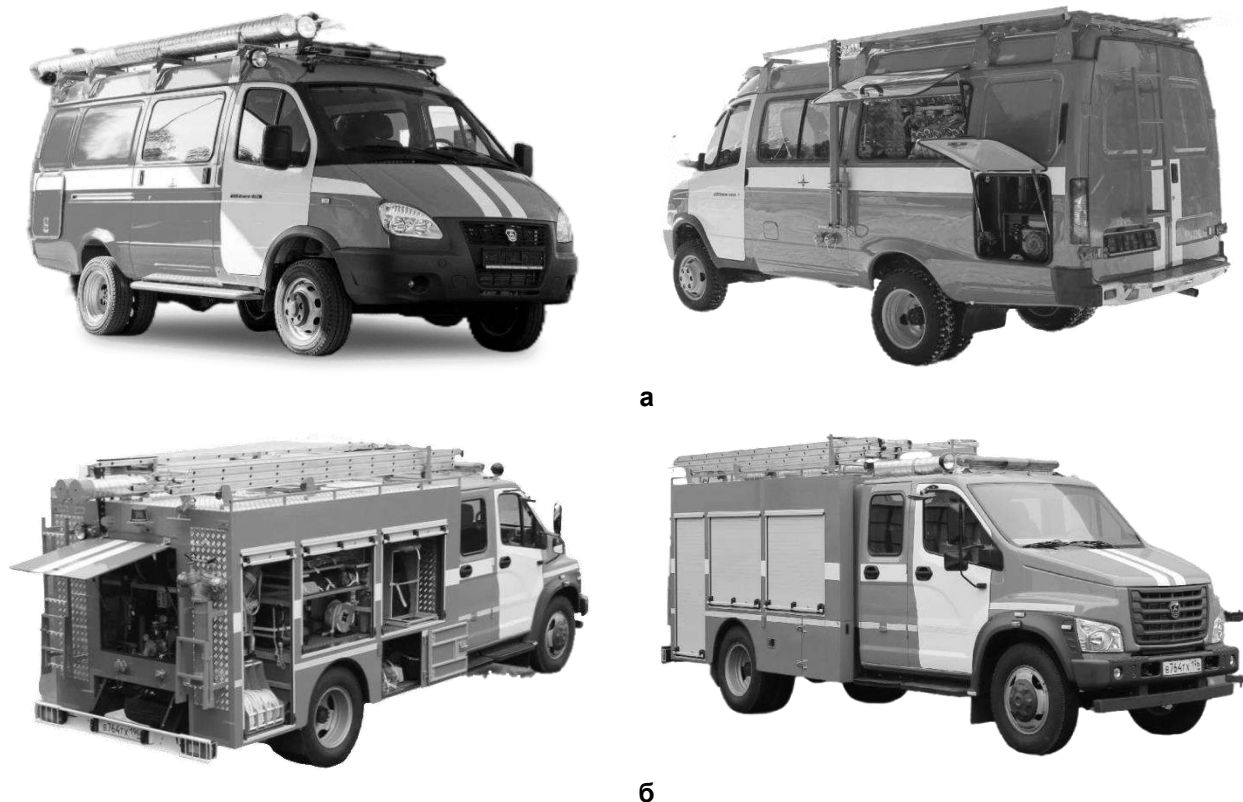


Рис. 4. Модели автомобилей первой помощи: а - АПП-0,5-5 (2705); б – АПП-0,8-40/4 NATISK (С42R33)

Таблица 1. Характеристики автомобилей первой помощи

Наименование параметра	АПП-0,5-5 (2705)	АПП-0,8-40/4 NATISK (С42R33)
Базовое шасси	ГАЗ-2705	ГАЗ-С42R33
Категория транспортного средства	N1	N2
Колесная формула	4 × 2	4 × 2
Полная масса транспортного средства, кг	не более 3500	не более 8700
Мощность двигателя, л.с.	140	109,5
Тип двигателя	бензиновый, инжекторный	дизельный
Запас хода по топливу, км	до 700 км	до 700 км
Габаритные размеры (не более), мм	6000x2100x2800	7500x2350x3000
Боевой расчет, чел	5	7
Емкость цистерны для воды, л	500	800
Емкость для пенообразователя, л	30	60
Насосная установка	Агрегат мотонасосный пожарный высокого давления МНПВ-90/300	Стационарный насос 40 л/с

В соответствии с приказом МЧС России от 29.04.2022 № 419⁶ годовая потребность моторесурсов для автомобилей первой помощи может устанавливаться в размере 10,0 тыс. км (для г. Москвы и г. Санкт-Петербурга – 15,0 тыс. км).

Блок-схема технологического процесса применения автомобиля первой помощи, разработанная на основе языка ДРАКОН, представлена на рис. 5.

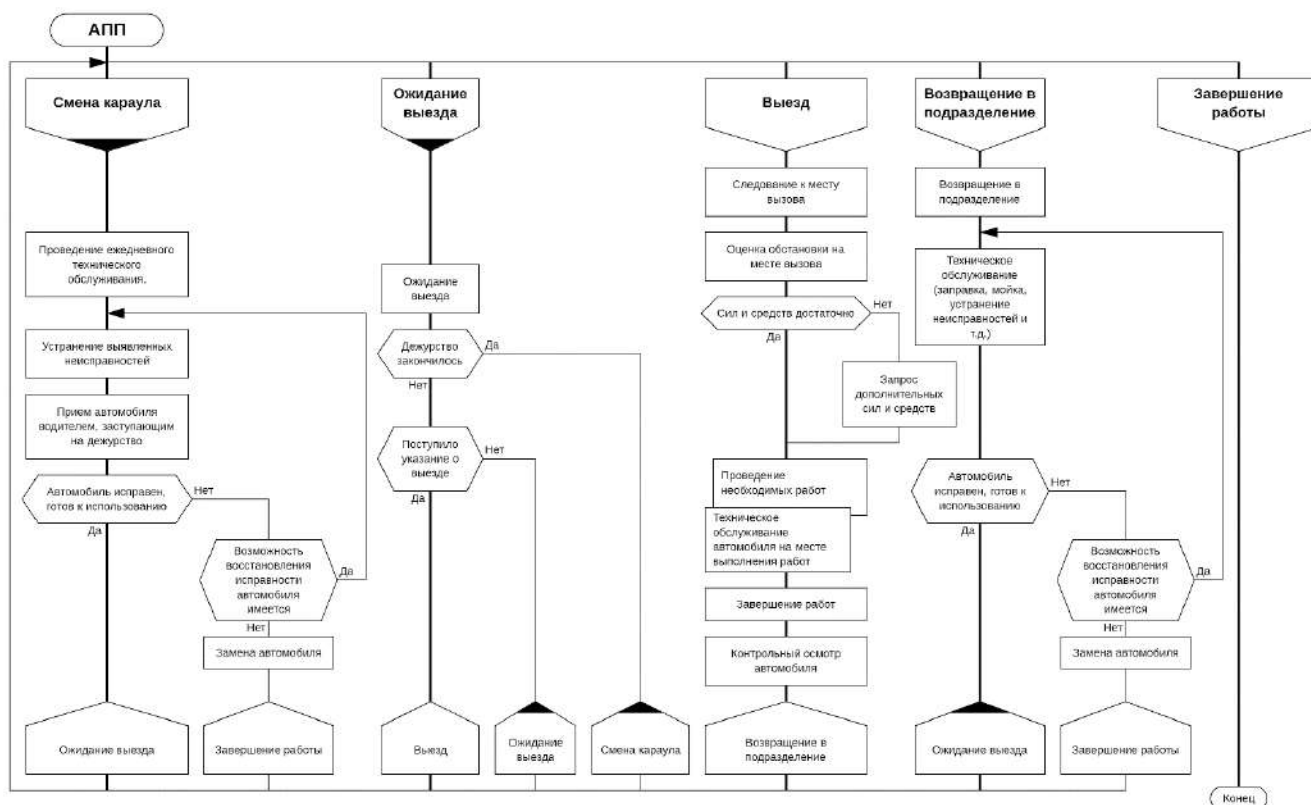


Рис. 5. Блок-схема технологического процесса применения автомобиля первой помощи

Как следует из представленной блок-схемы, автомобиль первой помощи не подразумевает его длительное использование на сложных пожарах, что существенно сокращает время его фактического использования.

Анализ показал, что ежегодный пробег (наработка) данных автомобилей составляет порядка 5,5 тыс. км в год или менее 100 км в сутки, что свидетельствует об отсутствии необходимости обеспечения значительного запаса хода (200 км и выше).

Из табл. 1 видно, что АПП-0,8-40/4 NATISK (С42R33) обладает большей массой и габаритами по сравнению с АПП-0,5-5 (2705), при максимальной нагрузке относится к пожарным автомобилям М-класса, что потребует

большой энерговооруженности (мощности электродвигателя и батарей большей емкости) и соответственно больших затрат на его приобретение. Таким образом, в целях минимизации затрат целесообразно рассмотреть в качестве основы для проектирования АПП-Э автомобиль типа АПП-0,5-5 (2705). Данный выбор обоснован еще и тем фактором, что предприятиями промышленности в настоящее время уже предлагаются шасси данного типа.

Так, Группой «ГАЗ» представлено семейство электромобилей GAZelle e-NN, основные характеристики которых представлены в табл. 2. По конструкции электромобили GAZelle e-NN относятся к аккумуляторным электромобилям типа BEV, зарядка аккумуляторов которых осуществляется за счет внешних источников электроэнергии.

⁶ Приказ МЧС России от 29.04.2022 № 419 «О потребности в моторесурсах транспортных средств и специальной техники в системе МЧС России и признании утратившими силу некоторых приказов МЧС России»

Таблица 2. Характеристики электромобилей GAZelle e-NN

Наименование параметра	Значение
Полная масса автомобиля, т	4,6
Грузоподъемность шасси, т	до 2,5
Тип электродвигателя	синхронный на постоянных магнитах
Пиковая мощность электродвигателя, кВт	100 кВт
Максимальный крутящий момент электродвигателя, Н·м	310 Н·м
Максимальная скорость, км/ч	100 км/ч
Запас хода на одной зарядке, км	120 км (200 км за счет установки дополнительных батарей)
Время быстрой зарядки до 80%	30 минут

Из приведенной табл. 2 видно, что основные характеристики предлагаемого Группой «ГАЗ» электромобиля, такие как грузоподъемность, максимальная скорость, запас хода на одной зарядке позволяют рассматривать его в качестве шасси для создания АПП-Э. Важным моментом является возможность быстрой зарядки батарей, что позволяет обеспечить выполнение требований по восстановлению боеготовности подразделения пожарной охраны в течение 40 минут.

На основании изложенного можно сделать вывод об актуальности рассмотрения вопроса создания опытного образца российского пожарного электромобиля. Наиболее целесообразным представляется создание АПП-Э на электроплатформе GAZelle e-NN. Создание автомобиля первой помощи позволит получить практический опыт применения пожарного электромобиля при различных режимах работы и послужит базой для формирования направлений дальнейшего развития технологии создания и применения пожарных электромобилей.

Список литературы

1. Бахтеев Ш. Р., Бахтеев К. Р. Анализ состояния рынка электромобилей в России и тенденции его развития // Поколение будущего: Взгляд молодых ученых – 2017. Сборник научных статей 6-й Международной молодежной научной конференции. В 4-х томах. Том 4. Курск, Издательство: Закрытое акционерное общество "Университетская книга", 2017. С. 36–41.

2. A Review on Electric Vehicles: Technologies and Challenges / Julio A. Sanguesa, Vicente Torres-Sanz, Piedad Garrido [et al.]. *Smart Cities*, 2021, vol. 4, pp. 372–404. <https://doi.org/10.3390/smartcities4010022>.

3. Comparison of the Overall Energy Efficiency for Internal Combustion Engine Vehicles and Electric Vehicles / A. Albatayneh, M. N. Assaf, D. Alterman [et al.]. *Environmental and Climate Technologies*, 2020, vol. 24, issue 1, pp. 669–680. <https://doi.org/10.2478/rtuect-2020-0041>.

4. Chan C. C. The state of the art of electric, hybrid, and fuel cell vehicles. *Proceedings of the IEEE*, 2007, vol. 95, issue 4, pp. 704–718. <https://doi.org/10.1109/JPROC.2007.892489>.

5. Иосифов В. В. Глобальные инновационные тренды развития транспортных систем и стратегические альтернативы для рос-

сийского машиностроения // Друкеровский вестник. 2018. № 4(24). С. 165–178.

6. Ишуточкина К. А. Развитие электромобилей в России // Наука без границ. 2016. № 3(3). С. 29–32.

7. Хаиров А. Р., Колесник Е. Д., Вилисов Д. А. Что если в войсках будут использовать электромобили?! // Состояние и инновации технического сервиса машин и оборудования: материалы XIII международной научно-технической конференции, посвященной 70-летию кафедры Надежности и ремонта машин ФГБОУ ВО Новосибирского ГАУ. Новосибирск: Издательский центр Новосибирского государственного аграрного университета "Золотой колос". 2021. С. 87–90.

8. Шишкина П. А. Анализ негативного влияния электромобилей на окружающую среду // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2022. № 10. С. 112-114. DOI: 10.24412/2071-6168-2022-10-112-114.

References

1. Bahteev Sh. R., Bahteev K. R. Analiz sostoyaniya rynka elektromobilej v Rossii i tendencii ego razvitiya [Analysis of the state of the electric vehicle market in russia and its development trends]. *Pokolenie budushchego: Vzglyad*

molodyh uchenykh – 2017. Sbornik nauchnykh statej 6-j Mezhdunarodnoj molodezhnoj nauchnoj konferencii. V 4-h tomah. vol. 4. Kursk, Izdatel'stvo: Zakrytoye aktsionernoye obshchestvo "Universitetskaya kniga". 2017, pp. 36-41.

2. A Review on Electric Vehicles: Technologies and Challenges / Julio A. Sanguesa, Vicente Torres-Sanz, Piedad Garrido [et al.]. *Smart Cities*, 2021, vol. 4, pp. 372–404. <https://doi.org/10.3390/smartcities4010022>.

3. Comparison of the Overall Energy Efficiency for Internal Combustion Engine Vehicles and Electric Vehicles / A. Albatayneh, M. N. Assaf, D. Alterman [et al.]. *Environmental and Climate Technologies*, 2020, vol. 24, issue 1, pp. 669–680. <https://doi.org/10.2478/rtuct-2020-0041>.

4. Chan C. C. The state of the art of electric, hybrid, and fuel cell vehicles. *Proceedings of the IEEE*, 2007, vol. 95, issue 4, pp. 704–718. <https://doi.org/10.1109/JPROC.2007.892489>.

5. Iosifov V. V. Global'nye innovacionnye trendy razvitiya transportnyh sistem i strategicheskie al'ternativy dlya rossijskogo mashinostroeniya [Global innovative trends in the de-

velopment of transport systems and strategic alternatives for russian engineering]. *Drukerovskij vestnik*, 2018, vol. 4 (24), pp. 165–178.

6. Ishutochkina K. A. Razvitie elektromobilej v Rossii [The developing of electric cars industry in russia]. *Nauka bez granic*, 2016, vol. 3 (3), pp. 29–32.

7. Hairon A. R., Kolesnik E. D., Vilisov D. A. Chto esli v vojskah budut ispol'zovat' elektromobili?! [What if the troops will use electric cars?!]. *Sostoyanie i innovacii tekhnicheskogo servisa mashin i oborudovaniya: materialy XIII mezhdunarodnoj nauchno-tekhnicheskoy konferencii, posvyashchennoj 70-letiyu kafedry Nadezhnosti i remonta mashin FGBOU VO Novosibirskogo GAU. Novosibirsk: Izdatel'skij centr Novosibirskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta "Zolotoj kolos". 2021, pp. 87–90.*

8. Shishkina P. A. Analiz negativnogo vliyaniya elektromobilej na okruzhayushchuyu sredu [Analysis of the negative impact of electric vehicles on the environment]. *Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Tekhnicheskie nauki*, 2022, vol. 10, pp. 112–114. DOI: 10.24412/2071-6168-2022-10-112-114.

Аристархов Владимир Анатольевич

Академия Государственной противопожарной службы МЧС России,

Российская Федерация, г. Москва

кандидат технических наук, доцент

E-mail: AristarkhovVA@yandex.ru

Aristarkhov Vladimir Anatolevich

The State Fire Academy of Ministry of Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters

Russian Federation, Moscow

candidate of technical sciences, associate professor of the department

E-mail: AristarkhovVA@yandex.ru

Двоенко Олег Викторович

Академия Государственной противопожарной службы МЧС России,

Российская Федерация, г. Москва

кандидат технических наук, доцент, начальник кафедры

E-mail: dvoenko_oleg@mail.ru

Dvoenko Oleg Viktorovich

The State Fire Academy of Ministry of Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters

Russian Federation, Moscow

candidate of technical sciences, associate professor, head of the department

E-mail: dvoenko_oleg@mail.ru

Передня Дарья Андреевна

Академия Государственной противопожарной службы МЧС России,

Российская Федерация, г. Москва

Преподаватель

E-mail: darya4252@mail.ru

Perednya Darya Andreevna

The State Fire Academy of Ministry of Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters

Russian Federation, Moscow

Lecturer

E-mail: darya4252@mail.ru

Савонина Ангелина Владимировна

Академия Государственной противопожарной службы МЧС России,

Российская Федерация, г. Москва

Курсант

E-mail: Angelina.savonina@gmail.com

Savonina Angelina Vladimirovna

The State Fire Academy of Ministry of Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters

Russian Federation, Moscow

Cadet

E-mail: Angelina.savonina@gmail.com

УДК 614.842

АНАЛИЗ ПРАКТИКИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ГРУПП СОВМЕСТНО РАБОТАЮЩИХ НАСОСОВ В ПРОТИВОПОЖАРНОМ ВОДОСНАБЖЕНИИ И ПОДХОДОВ К АНАЛИТИЧЕСКОМУ ОПИСАНИЮ ИХ ХАРАКТЕРИСТИК

В. Б. БУБНОВ, Д. С. РЕПИН

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

В работе проанализированы подходы к управлению группами совместно работающих насосов на объектах защиты и аналитическому описанию их рабочих характеристик. Отмечены недостатки существующих математических моделей для расчета характеристик групп насосов в насосных станциях. Изложены преимущества метода частотного регулирования привода как наиболее энергетически эффективного. Внедрение данного метода необходимо сопровождать достоверными расчетами, направленными на решение оптимизационных задач настройки насосной станции с оценкой экономического эффекта. Результаты анализа позволили выявить основные проблемные вопросы существующей практики и эксплуатации групп совместно работающих насосов и определить важнейшие задачи, которые необходимо выполнить в данной области исследований. Приводится описание направлений дальнейших исследований, в частности в области оптимизации режимов эксплуатации групп совместно работающих насосов с пожарными насосами. Результаты работы представляют интерес для создания актуализированной научно-методической базы, включающей современные методики расчетов и рекомендации, позволяющие использовать методы моделирования и повысить точность расчета режимов работы насосного оборудования, а также проектных и экспертных работ в области обеспечения пожарной безопасности, которая будет полезна, в том числе, для совершенствования образовательной и научно-исследовательской деятельности образовательных организаций.

Ключевые слова: противопожарное водоснабжение, насосная станция, водопроводная сеть, напорно-расходная характеристика, оптимизация, модель, график водопотребления.

ANALYSIS OF THE PRACTICE OF OPERATION OF GROUPS OF JOINTLY OPERATING PUMPS IN FIRE-FIGHTING WATER SUPPLY AND APPROACHES TO THE ANALYTICAL DESCRIPTION OF THEIR CHARACTERISTICS

V. B. BUBNOV, D. S. REPIN

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

The paper analyzes approaches to managing groups of jointly operating pumps at protected objects and an analytical description of their performance. The shortcomings of existing mathematical models for calculating the characteristics of groups of pumps in pumping stations are noted. The advantages of the drive frequency control method as the most energy efficient are stated. The introduction of this method must be accompanied by reliable calculations aimed at solving optimization problems of setting up a pumping station with an assessment of the economic effect. The results of the analysis made it possible to identify the main problematic issues of the current practice and operation of groups of cooperating pumps and to determine the most important tasks that need to be performed in this area of research. A description is given of directions for further research, in particular in the field of optimizing the operating modes of groups of jointly operating pumps with fire pumps. The results of the work are of interest for creating an updated scientific and methodological base, including modern calculation methods and recommendations that allow using modeling methods and improving the accuracy of calculating the operating modes of pumping equipment and design

and expert work in the field of fire safety, which will be useful, among other things, to improve the educational and research activities of educational organizations.

Key words: fire-fighting water supply, pumping station, water supply network, pressure-flow characteristics, optimization, model, water consumption schedule.

Насосное оборудование является важнейшим элементом системы противопожарного водоснабжения на объектах защиты, что требует организации постоянного мониторинга его состояния. Насосы находят применение во внутреннем водоснабжении зданий, при оснащении зданий и сооружений системами пожаротушения, в наружном, в том числе и противопожарном, водоснабжении объектов, в системах подачи воды и огнетушащих составов в установках пожаротушения, для подачи воды на пожаротушение с использованием насосно-рукавных систем. [1]

Насосная станция представляет собой инфраструктурный объект, который предназначен для перекачки жидкостей и состоит из насосов (рабочих и резервных), трубопроводов и вспомогательных устройств. Добиться значительной экономии потребляемой насосной станцией электроэнергии можно путем модернизации оборудования, а также внедрения систем управления на основе технологий искусственного интеллекта.

Целью работы является проведение анализа существующих способов оптимизации режимов групп совместно работающих насосов в противопожарном водоснабжении, что в дальнейшем позволит разработать рекомендации по повышению эффективности систем подачи воды для противопожарного водоснабжения объектов защиты, мероприятия по сокращению потребления электроэнергии на привод насосного оборудования, а также компьютерную поддержку методов оптимизации групп совместно работающих насосов. Для этого на данном этапе работы анализируются практика эксплуатации групп совместно работающих насосов и подходы к аналитическому описанию их характеристик.

В городах и населенных пунктах обычно организуют хозяйственно-противопожарные водопроводы (объединенные). Вода из них подается также на промышленные предприятия. Обычно на промышленных предприятиях организуются отдельные производственный и хозяйственно-противопожарный водопроводы, реже – отдельные хозяйственно-питьевой, производственно-противопожарный или хозяйственно-производственно-противопожарный (объединенный). [1] Основная задача регулирования подачи насосов на объекте защиты – обеспечение заданного графика водопотребления, который для производствен-

ных объектов определяется технологическим процессом.

Существует несколько подходов в практике управления группами совместно работающих насосов. Например, ступенчатый график работы насосных станций с применением напорно-регулирующих емкостей. В данном случае в различные периоды времени работает разное количество насосов (насосных групп), компенсация несоответствия графиков подачи и водопотребления происходит благодаря заполнению (опорожнению) напорно-регулирующей емкости. Регулирование подачи насосов, насосных станций может осуществляться путем дросселирования на нагнетательной линии, когда изменяется гидравлическая характеристика трубопроводной сети, в которую насосная станция подает воду и происходит изменение положения рабочей точки системы «насосная станция – водопроводная сеть». Регулирование может быть параллельным и последовательным. При параллельном осуществляется изменение подачи всех одновременно работающих насосов, при последовательном – сначала одного насоса, далее следующего и т.д. Регулирование подачи изменением числа оборотов приводных двигателей (частотное регулирование) может быть также параллельным и последовательным. Также иногда применяют и другие способы, например, регулирование байпасированием (направляющим аппаратом), организуя рециркуляцию жидкости через насос.

Используемые в настоящее время такие методы регулирования подачи, как байпасирование и дросселирование на нагнетании имеют низкую энергетическую эффективность. В последние годы распространение получает один из самых энергетически эффективных методов регулирования подачи насосов – метод частотного регулирования привода. Этот метод описан в большом количестве монографий и статей ведущих ученых в области гидродинамики, а также производителями установок частотного регулирования подачи¹ [2, 3].

Преимуществом использования таких установок также является снижение износа насосного оборудования за счет обеспечения

¹ Шакарян Ю. Г., Нильский Н. Ф. Инструкция по расчету экономической эффективности применения частотно-регулируемого электропривода. М: МЭИ, 1997. 12 с.

плавного разгона двигателя, без повышенных пусковых токов и механических ударов. Известен данный метод давно, но его широкое использование ограничивалось высокой стоимостью оборудования для плавного изменения частоты вращения приводного двигателя. Благодаря быстрому развитию средств автоматизации, микроэлектроники, а также в связи с увеличением стоимости электроэнергии, метод частотного регулирования становится конкурентоспособным с традиционными методами.

Методы построения рабочих характеристик пожарных насосов («напор-подача», «мощность-подача», «КПД-подача») по результатам их испытаний и их аппроксимация полиномами разной степени являются хорошо известными [4, 5].

В работе [6] описаны наиболее полные математические модели насосных станций. Заключается суть метода в построении напорно-расходной характеристики, общей для группы совместно работающих насосов, и рабочей точки в зависимости от гидравлического сопротивления трубопровода, т.е. параметры рабочей точки (напор, подача) при работе насоса на данную водопроводную сеть однозначно определяются характеристиками насоса и сети.

На рис. 1 представлена графическая интерпретация этого способа. При изменении гидравлического сопротивления сети водопроводов рабочая точка Q_1 , которая определяется пересечением характеристики насоса («напорно-расходной») и гидравлического сопротивления водопроводной сети, сдвинется в точку Q_2 по графику «напорно-расходной» характеристики насоса. Если применять метод снижения частоты вращения ротора приводного электродвигателя, то изменится характеристика насосной станции («напорно-расходная») и рабочая точка сдвинется в точку Q_3 . В случае введения в эксплуатацию для перепуска части жидкости байпасной линии, на линии выхода с насосной станции характеристика насосной станции (напорно-расходная) изменится, а рабочая точка при этом сдвинется в точку Q_4 .

Как правило, в насосных станциях имеет место совместная работа насосов, когда несколько насосов подают в одну систему транспортируемую жидкость. Включены в систему при этом они могут параллельно или последовательно. Совместная работа нескольких насосов (параллельная, последовательная) представляет собой один из способов регулирования работы насосных станций в системах водяного пожаротушения.

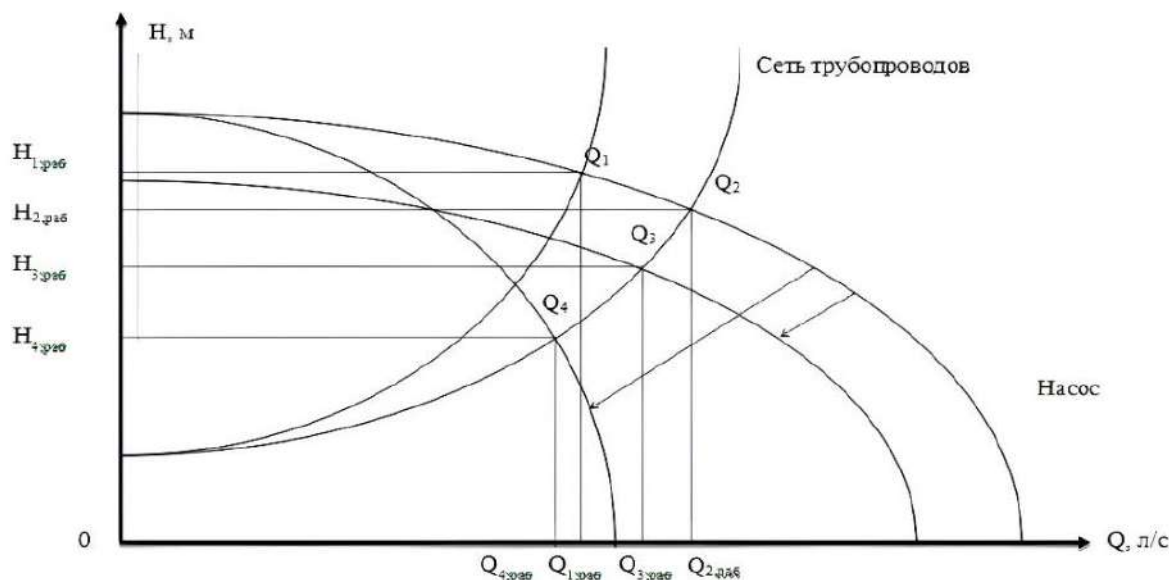


Рис. 1. Схема взаимодействия «насос - водопроводная сеть»

Параллельная работа представляет собой совместную одновременную работу нескольких насосов. Они напорными патрубками присоединены к системе – водоводам, напорному коллектору, водосборнику. Применяется такая параллельная работа насосов при подаче воды к лафетным стволам, подаче на пожар

воды насосными станциями водопроводов (объединённых).

При последовательной работе насосов напорный патрубок одного из них подключают к всасывающему патрубку другого. Используется она в случаях, когда создаваемый одним насосом напор недостаточен. Это имеет ме-

сто, например, при тушении пожаров в зданиях повышенной этажности, когда воду необходимо подать на заданную высоту, при подаче воды в перекачку (на большие расстояния).

Для получения характеристик групп совместно работающих насосов (суммарных)

необходимо сложить подачи всех параллельно работающих насосов при одинаковом напоре (рис. 2) или сложить напоры всех последовательно работающих насосов при одинаковой подаче (рис. 3).

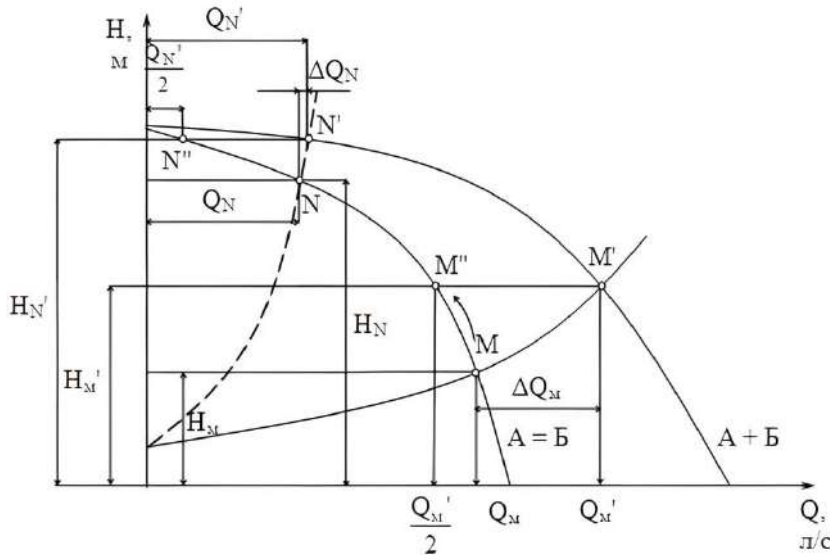


Рис. 2. Схема параллельной работы двух насосов

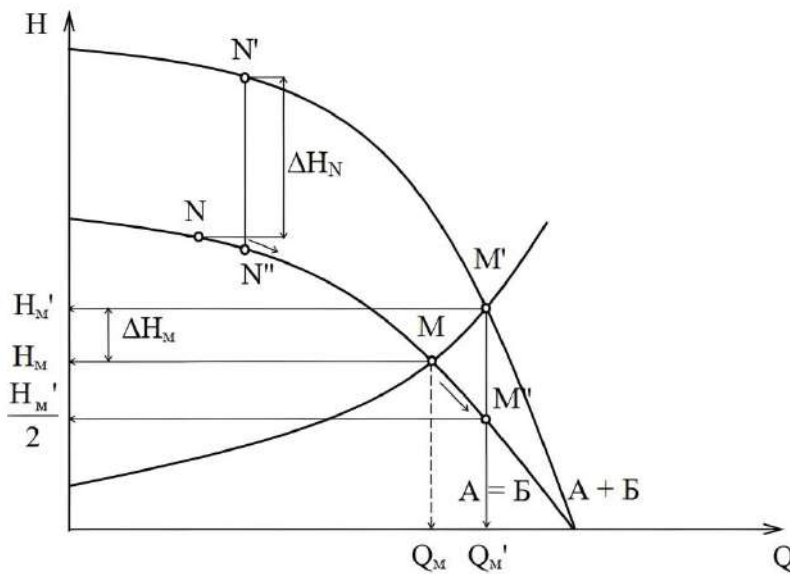


Рис. 3. Схема последовательной работы двух насосов

Для рабочих характеристик насосов аналитические выражения задаются обычно полиномами второго порядка. Недостатком представленных в научных работах [3, 6, 7] моделей является ограниченная их информированность касаясь каждого отдельного насоса, а также влияния каждого насоса при осуществлении регулирования на характеристику всей группы совместно работающих насосов. К примеру, не учитывается влияние регулирования одного насос-

ного агрегата на режим работы всей насосной станции. Модель является весьма упрощенной, поскольку в ней для напорно-расходной характеристики насосов используется аппроксимирующая квадратичная функция, которая не обеспечивает высокую точность.

Существенным недостатком существующей в настоящее время практики аналитического описания характеристик для групп совместно работающих насосов, по нашему мне-

нию, является отсутствие адекватных методик расчета напорно-расходных характеристик для параллельно работающих насосов, имеющих различные характеристики. К примеру, в ПК ГИС Zulu² применяются значения коэффициентов полиномов, аппроксимирующих характеристики насосов «напор-подача», среднеарифметические. Указанные подходы приводят к существенным ошибкам. В ряде других научных работ [6, 7] рекомендуется пользоваться графическими методиками (графическое сложение характеристик).

При транспортировке огнетушащей среды по трубопроводам важной задачей является минимизация возникающих гидросопротивлений, т.к. от их величины зависят энергетические затраты на перемещение жидкости. Одним из путей решения этой проблемы является дозирование в воду растворов водорастворимых полимерных материалов, в частности полиакриламида, сополимеров акриламида [8, 9]. При транспортировке такой жидкости изменится характеристика насосного агрегата, а в существующих методиках зачастую не учитывается влияние физических свойств перекачиваемой жидкости на эти характеристики. Поэтому при моделировании и оптимизации насосов в данных случаях также следует учитывать свойства воды с добавками полимера, оказывающие влияние на рабочие характеристики.

Другой проблемой является изменение фактических характеристик насосов в процессе эксплуатации вследствие их износа и некачественного обслуживания. На практике встречаются случаи, когда совместно эксплуатируемые насосы одной марки имеют отличающиеся друг от друга рабочие характеристики.

Использование в качестве аппроксимирующей функции полиномов более высокого порядка позволит повысить точность расчетов. Развитие современных компьютерных технологий вполне позволяет усложнять общую модель насосной станции за счет использования распараллеливания алгоритмов оптимизации. Интегрирование моделей групп совместно работающих насосов и водопроводной сети видится наиболее эффективным вариантом моделирования всей системы для решения задачи снижения энергозатрат.

При использовании агрегатов различного типоразмера в случае параллельной работы насосов, важная задача состоит в поиске параметров регулировки их подачи, при которых минимальны энергозатраты на транспортировку среды [4]. Как отмечено выше, в последние годы получает все большее распространение метод частотного регулирования как

самый энергетически эффективный. Как известно, энергоэффективность для групп совместно работающих насосов увеличивается при большей степени равномерности загрузки насосов. Такому условию будет соответствовать снижение частоты вращения вала насоса для большего типоразмера, при котором напор его холостого хода равен напору холостого хода для насоса меньшего типоразмера.

Метод частотного регулирования является дорогостоящим, его внедрение должно сопровождаться обоснованными точными расчетами, оценивающими возможный экономический эффект. Проведение таких расчетов с нахождением оптимальной частоты работы электродвигателя насосного агрегата требует большого количества вычислений. Выполнить их возможно только с применением ЭВМ. В настоящее время готовой модели, а также программного продукта, реализованного на ее основе, для решения оптимизационной задачи настройки насосной станции методом использования частотного регулирования подачи и связанной с ней экономической задачи, нет.

Износ оборудования приводит к плановому обновлению насосных агрегатов. При изменении режима группы совместно работающих насосов, обусловленного изменением режима обслуживаемого ей оборудования, возможен подбор новых насосных агрегатов, которые обеспечат минимальные возможные энергозатраты. Часто в эксплуатации находятся насосы, выведенные на режим работы, находящийся за пределами рекомендованной рабочей зоны [4]. Разница в цене насосов вполне нивелирует снижение потребления электроэнергии и за счет долгого срока службы самих агрегатов. Существует множество моделей насосов, и подбор оптимального агрегата также требует существенных вычислительных затрат.

В ходе подбора новых насосных агрегатов к ним предъявляются следующие требования: обеспечение (в соответствии с графиком водопотребления) основных параметров напора, подачи; обеспечение необходимой степени надежности, а также бесперебойности работы; удобство эксплуатации; долговечность.

При проектировании, строительстве групп насосов (совместно работающих) следует стремиться снизить затраты на их сооружение путем максимальной компактности расположения оборудования, использования стандартных изделий и материалов.

² www.geoinfograd.ru (дата обращения 03.04.2023)

Результаты проведенного анализа существующей практики эксплуатации и моделирования групп совместно работающих насосов позволили выявить основные недостатки и определить основные задачи дальнейших исследований, такие как разработка аналитического метода расчета характеристик групп совместно работающих насосов, укомплектованных насосами разных марок; разработка методики пересчета характеристик насосов на перекачку среды с другими физическими свойствами в случае использования в качестве огнетушащей среды воды с добавками водорастворимых полимерных материалов; формулировка задачи оптимизации групп совместно работающих насосов по критерию минимума

энергозатрат; разработка модели для решения задачи настройки насосной станции методом использования частотного регулирования и связанную с ней экономическую задачу; разработка рекомендаций по оптимизации режимов эксплуатации групп совместно работающих насосов с пожарными насосами.

Полученные результаты представляют интерес для разработки актуализированной научно-методической базы, включающей современные методики расчетов и рекомендации, позволяющие использовать методы моделирования и повысить точность расчета режимов работы насосного оборудования, а также проектных и экспертных работ в области обеспечения пожарной безопасности.

Список литературы

1. Жучков В. В. Противопожарное водоснабжение. М.: Академия ГПС МЧС России, 2016. 298 с.
2. Елин Н. Н., Бубнов В. Б., Снегирев Д. Г. Насосные станции: учебное пособие. Иваново: ООНИ ИВИ ГПС МЧС России, 2012. 129 с.
3. Multiobjective Optimization of Low-Specific-Speed Multistage Pumps by Using Matrix Analysis and CFD Method / Qiaorui Si, Shouqi Yuan, Jianping Yuan [et al.]. *J. Appl. Math.* Vol. 2013. 10 p.
4. Королёв М. Г. Оптимизация работы насосной станции // Культура, наука образование: проблемы и перспективы: материалы III Всероссийской научно-практической конференции. Нижневартовск: Нижневартовский государственный университет. 2014. Ч. 2. С. 307–309.
5. Yi Gong, Jilin Cheng. Combinatorial Optimization Method for Operation of Pumping Station with Adjustable Blade and Variable Speed Based on Experimental Optimization of Subsystem. Hindawi Publishing Corporation *Advances in Mechanical Engineering*, vol. 2014, 7 p.
6. Турк В. И., Карелин В. Я., Минаев А. В. Насосы и насосные станции. М: Стройиздат, 1986. 304 с.
7. Чебаевский В. Ф., Вишнеvский К. П., Накладов Н. Н. Проектирование насосных станций и испытание насосных установок. М.: Колос, 2000. 320 с.
8. Абросимов Ю. Г. Гидравлика. М.: Академия ГПС МЧС России, 2016. 312 с.
9. Бубнов В. Б., Дмитриев И. В., Шамин В. И. Исследование условий получения и применения в системах противопожарного водоснабжения водорастворимого полимерного материала // Пожарная и аварийная безопас-

ность: сборник материалов XIII Международной научно-практической конференции. Иваново: ФГБОУ ВО Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, 2018. С. 47–52.

References

1. Zhuchkov V. V. *Protivopozharnoye vodosnabzheniye* [Fire water supply]. Moscow: Akademija GPS MChS Rossii, 2016. 298 p.
2. Yelin N. N., Bubnov V. B., Snegirev D. G. *Nasosnyye stantsii: uchebnoye posobiye* [Pumping stations: tutorial]. Ivanovo: OONI Ivi GPS MChS Rossii. 2012. 129 p.
3. Multiobjective Optimization of Low-Specific-Speed Multistage Pumps by Using Matrix Analysis and CFD Method / Qiaorui Si, Shouqi Yuan, Jianping Yuan [et al.]. *J. Appl. Math.* Vol. 2013. 10 p.
4. Korolev M. G. *Optimizatsiya raboty nasosnoy stantsii* [Optimization of the operation of the pumping station]. *Kul'tura, nauka obrazovaniye: problemy i perspektivy: materialy III Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii*. Nizhnevartovsk: Nizhnevartovskiy gosudarstvennyy universitet. 2014, issue 2, pp. 307–309.
5. Yi Gong, Jilin Cheng. Combinatorial Optimization Method for Operation of Pumping Station with Adjustable Blade and Variable Speed Based on Experimental Optimization of Subsystem. Hindawi Publishing Corporation *Advances in Mechanical Engineering*, vol. 2014, 7 p.
6. Turk V. I., Karelin V. Ya., Minayev A. V. *Nasosy i nasosnyye stantsii* [Pumps and pumping stations]. Moscow: Sroyizdat, 1986. 304 p.
7. Chebayevskiy V. F., Vishnevskiy K. P., Nakladov N. N. *Proyektirovaniye nasosnykh stantsiy i ispytaniye nasosnykh ustanovok* [Design of pumping stations and testing of pumping units]. Moscow: Kolos, 2000. 320 p.

8. Abrosimov Yu. G. *Gidravlika* [Hydraulics]. Moscow: Akademija GPS MChS Rossii, 2016. 312 p.

9. Bubnov V. B., Dmitriyev I. V., Shamin V. I. Issledovaniye usloviy polucheniya i primeneniya v sistemakh protivopozharnogo vodosnabzheniya vodorastvorimogo polimernogo materiala [Study of the conditions for obtaining

and using water-soluble polymeric material in fire water supply systems]. *Pozharnaya i avariynaya bezopasnost': sbornik materialov XIII Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii*. Ivanovo: FGBOU VO Ivanovskaya pozharno-spasatel'naya akademiya GPS MChS Rossii, 2018, pp. 47-52.

Бубнов Владимир Борисович

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

кандидат технических наук, доцент

E-mail: kafppv@mail.ru

Bubnov Vladimir Borisovich

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

Russian Federation, Ivanovo

candidate of technical sciences, associate professor

E-mail: kafppv@mail.ru

Репин Денис Сергеевич

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

преподаватель

E-mail: denisrep@mail.ru

Repin Denis Sergeevich

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

Russian Federation, Ivanovo

teacher

E-mail: denisrep@mail.ru

УДК 654.924.5

НОВАЯ ТЕХНИКА ТУШЕНИЯ АВАРИЙНОГО РОЗЛИВА ГОРЯЩИХ НЕФТЕПРОДУКТОВ НА МОСТАХ ИЗ ПОЕЗДА С ЦИСТЕРНАМИ

В. Д. ЗАХМАТОВ, А. С. КРУТОЛАПОВ, А. В. МИРОНЬЧЕВ, Н. В. ЩЕРБАК*,
Санкт-Петербургский университет государственной противопожарной службы МЧС России
им. Героя Российской Федерации генерала армии Е. Н. Зиничева,
* ООО «Зола» Санкт-Петербург,
Российская Федерация, г. Санкт-Петербург
E-mail: zet.pulse@gmail.com

Пожар быстро снижает прочность металлических и железобетонных конструкций мостов. В статье показано, что аварийный розлив и горение топлива из железнодорожных цистерн на Крымском мосту наиболее опасен для критической потери прочности его несущих конструкций и железнодорожного полотна. Авторы обосновали целесообразность оснащения моста дополнительной, стационарной системой тушения из автономных, компактных, многоствольных модулей — ММ-9 стволов, ММ-16 — с интервалами 60–100 м. Приведен анализ результатов полигонных экспериментов, показывающий, что ударно-волновое распыление 200 л воды залпом из 10 стволов создаст мощный, мультивихревой шквал по горящему участку моста дальностью до 150 м с тушением всей горячей площади различных ориентированных поверхностей сложных конструкций моста, горящих цистерн и розлив топлива на железнодорожном полотне и опорах моста. Береговые, пожарные части предлагается усилить новыми пожарными машинами с башенными модулями ММ-50, ММ-72 с поворотом на 360° на шасси колесных, башенных САУ типа «Коалиция» Камаз, Россия; МАЗ «Берег», Беларусь; «Дана» (Чехия); «Сюзана», Словакия, также открытые платформы пожарных поездов — быстро прибывающие на пожар и эффективно тушащие серией по 5-8 Шквалов дальностью тушения до L=150 м с расширяющимся фронтом от 1 до 14 м и общей площадью тушения вдоль траектории движения S=900-1100 м².

Ключевые слова: пожар, конструкция, потеря несущей способности, обрушение, превышение огнестойкости, многоствольный распылительный модуль, стационарная система модулей.

A NEW TECHNIQUE FOR EXTINGUISHING AN EMERGENCY SPILL OF BURNING OIL PRODUCTS ON THE BRIDGES FROM A TRAIN WITH TANKS

V. D. ZAKHMATOV, A. S. KRUTOLAPOV, A. V. MIRONCHEV, N. V. SHCHERBAK*,
Saint-Petersburg University of State Fire Service of EMERCOM of Russia
named after the Hero of the Russian Federation General of the Army E. N. Zinicheva,
* LLC Zola St. Petersburg,
Russian Federation, St. Petersburg
E-mail: zet.pulse@gmail.com

Fire - quickly reduces the strength of metal and reinforced concrete structures of bridges. The article shows that emergency Fuel spill out of railway tanks and burning of fuel on the Crimean bridge are most dangerous for the critical loss of the strength of its load-bearing structures and the railway canvas. The authors substantiated the appropriateness of equipping the bridge with an additional, stationary extinguishing system of autonomous, compact, multi-barrel modules-MM-9 barrels, MM-16-at 60-100m intervals. An analysis of the results of Field-range experiments is given, which shows that the shock-wave spraying of 200 liters of water by volley from 10-barrels will create a powerful, multi-whirly Squall along the burning area of the bridge up to 150m with extinguishing the entire burning surfaces of complex structures of the bridge, burning tanks and fuel-out fuel on the railway canvas and supports of the bridge. The coastal fire units are proposed to strengthen new fire engines with MM-50, MM-72 tower modules with 3600 rotation on the chassis of wheeled, tower self-propelled guns of the KAMAZ, Russia, Russia type; MAZ "Coast", Belarus; "Dana" (Czech Republic); "Suzana", Slovakia, also mounted at open platforms of fire trains. These units quickly arriving on a fire and effectively extinguishing a series of 5-8 squalls with a extinguishing range to L = 150 m with an expanding front from 1 to 14m and a total extinguishing area along the trajectory of movement S = 900–1100 sq.m.

Key words: fire, construction, loss of bearing capacity, collapse, exceeding fire resistance, multi-barrel spray module, stationary modules system.

Введение

Тушащая эффективность традиционной пожарной техники при защите мостов низка. На стратегически и политически важном Крымском мосту недопустимо 6 часовое тушение пожара, возникшего после террористического взрыва 8 октября 2022 г., с помощью только традиционных пожарных машин, поездов, вертолёта – не способных тушить быстро большие пожары. Основная причина – прогрессирующая потеря прочности моста по мере развития пожара и увеличения времени свободного горения и неэффективного тушения пожара, несмотря на большие расходы воды. На длинных мостах технически сложно, очень дорого и неэффективно применение стационарных систем тушения с большими цистернами воды, мощными, тяжёлыми насосами и толстостенными трубопроводами высокого давления современной пожарной автоматики.

Особенно опасна быстрая потеря прочности конструкций моста при сочетании взрыва и пожара. На мостах осуществляется прогрев армирующих составляющих частей железобетонных плит и несущих тросов на глубину до 150–200 мм под воздействием тепловых потоков дыма и излучения Пламени в режиме развитого пожара разлитых нефтепродуктов. Изучены зависимости прогиба плит от времени под воздействием стандартного режима пожара и расчетной нагрузки. Экспериментально доказано достижение предельной потери несущей способности плиты по измерению величины и скорости прогиба при прогреве плиты с расчетной нагрузкой и потере теплоизолирующей способности составляет более 65 мин. Это исследовано и замерялось только для пожара без предшествующего ослабления конструкций моста взрывной ударной волной [1–4].

Любая мощная взрывная волна создает в относительно близко расположенных железобетонных и металлических конструкциях сеть микротрещин. Интенсивное тепловое воздействие пламени и высоко-температурного дыма способствуют развитию сети трещин в ширину и глубину. Это вызывает неизбежную потерю прочности конструкций части моста, подвергнутых комбинированному ударному и тепловому воздействию. Аналог мы видели в 2001 г. в Нью-Йорке, когда два небоскрёба подверглись комбинированному сильнейшему удару тарана Боингами и ударной волной последующего, объёмного взрыва авиа-топливо-воздушной смеси, после этого в результате

интенсивного пожара по всей площади сечения зданий в высоту 2-3 этажей за 10-15 мин силовые конструкции потеряли прочность из-за быстрого развития сети трещин. Их создали тараны Боингов и усугубили последующие: ударно-тепловая волна объёмно-термобарической дефлаграции топливо-воздушной смеси (ТВС) с $T^0 = 3000\text{ °C}$ и глубоким фронтом быстро углубляющим сеть микротрещин. Пожар сопровождала серия вторичных взрывов с интенсивными и глубокими ударными волнами [1, 5].

Аналогична схема разрушения Крымского моста: мощный фугасный взрыв террористического заряда взрывчатых веществ (ВВ) создал сильную ударную волну, обрушившую часть моста и неизбежно образовавшую сеть трещин в стальных балках и железобетонных плитах уцелевшей автомобильной полосе и железнодорожной части Крым-моста. 6 часов интенсивного пожара, разлива топлива из цистерн, с температурами до $T=1.500\text{--}2.000\text{ °C}$ на больших площадях рельсовых путей, участках боковой и даже локальных нижних поверхностей моста при сильном ветре. По проведенным исследованиям потеря прочности железобетонных конструкций наступает после 65 мин интенсивного нагрева от Пламени. В потере прочности и разрушении части моста, повреждённой ударной волной взрыва, предел прочности наступит гораздо раньше из-за образования в несущих конструкциях моста сети микротрещин от воздействия ударной волны [6, 9].

Поэтому результатом 6-часового интенсивного нагрева неразрушенных силовых стальных балок и железобетонных плит моста неизбежно углубление и разветвление сети трещин с деформацией ползучести стальных конструкций [5, 6], уничтожением теплозащитного слоя и частичной потере прочности стальных несущих колонн, балок, железобетонных плит. Неизбежна потеря части их несущей способности и перераспределение нагрузки на участки с менее развитой сетью трещин. Это может привести к потере несущей способности части конструкций моста вплоть до их внезапного обрушения. При первичном взрывном, ударном воздействии, каждая последующая минута интенсивного горения в зоне нахождения конструкций моста с образованием микротрещин приводит к потере их прочности и гарантированному при строительстве моста сроку его эксплуатации [7, 8]. В конструкции части моста подвергнутой комбини-

рованному разрушающему действию УВ и Пламени, снижается критическая температура огнестойкости, обрушение моста частями будет следствием его конструктивной схемы, площади повреждения УВ, на которую разрушающе воздействует Пламя.

Анализ температурных разрушений конструкций железнодорожного подвижного состава и оплавления рельсов от пожара на Крымском мосту

Рельсовые стали имеют высокую стойкость к нагрузкам циклического характера, предельная прочность рельсов от 800 до 1000 МПа. Деформация рельсовой стали начинается от 600 до 810 Мпа, ударная вязкость 2,5 кг/см², твердость рельс – сильно снижаются при их нагреве, а пластичность увеличивается. Начало деформации рельс при их нагреве до температуры 900–1000 °С, судя по цвету Пламени температура нагрева рельс могла составить до 1500 °С.

Выводы

Продолжительное воздействие предельно высоких температур горения нефтепродуктов на ходовую часть железнодорожных цистерн и рельсовый путь, изготовленных из наиболее жаростойких углеродистых сталей ($T_{пл} = 1535$ °С) в любом случае вызывает разрушение целостности форм и конструкций. Категорическим требованием к сохранению стальных конструкций является уменьшение времени и температуры воздействия высоких температур.

Длительность существования целостности моста после взрыва определяется интенсивностью Пламени и временем свободного развития пожара в купе со временем его полного тушения. При длительном периоде развития и тушения пожара развитие деформаций ползучести может стать необратимым. Таким образом, даже при внешней целостности части моста после длительного тушения неизбежно встает вопрос определения оставшегося запаса прочности моста для составления заключения о возможности и сроке его дальнейшей эксплуатации и необходимых объемов ремонта. Единственный реальный путь сохранения моста после происшедшего взрыва и его главного разрушительного последствия – пожара – увеличить эффективность систем пожаротушения и сократить период начала тушения и его продолжительность [1, 3].

Обоснование новой пожарной техники защиты моста

Предлагаем разместить на Крымском мосту стационарные системы тушения пожаров из автономных, компактных, мощных, многоствольных модулей (ММ), распыляющих залпами с созданием масштабных Шквалов тонко распыленной воды с фронтом шириной до 8–10 м, тушащих за секунду до 600–700 кв. м пожара. Используя ММ можно недорого – без насосов и трубопроводов высокого давления – смонтировать исполнительную часть автоматической системы пожаротушения (АСП) на всю длину моста с необходимой, практически неограниченными мощностью и масштабом тушения и возможностью за минуту потушить несколько горящих цистерн и розлив топлива вокруг. Вторая их функция вывод из строя диверсионной группы на мосту и его опорах¹.

Дополнительно возможно на скоростных шасси колесных, башенных самоходных, артиллерийских установок (САУ) типа «Коалиция», «Берег» Россия, «Дана» (Словакия) создать пожарные машины, быстро прибывающие на пожар и масштабно тушащие с дистанций до 100 м и выше с соседней автомобильной части моста. Это позволит исключить такой опасный фактор как пожар, из возможных средств разрушения Крымского моста [4].

В мае 1986 г. в СССР за 5 дней наладили производство аналогичного ММ-9 для Чернобыльской зоны на военном, ремонтном заводе «Арсенал-2», Киев. Модули ММ-9 (партия 30 штук) применялись как быстро монтируемые стационарные модули пожарной защиты с дистанционным управлением для трансформаторных подстанций и других объектов на участках Чернобыльской зоны с наиболее опасными уровнями радиации. Модуль распыляет до 180 кг огнетушащего порошка на дальность до 90 м с площадью тушения до 600 м²; испытано впервые в 1990 г., позднее неоднократно подтверждалось. Фрагмент штабеля 15×6,5×3,5 м ящиков с боеприпасами тушится с дистанции 40 м тремя залпами по 8 стволов (160 кг порошка или 96 л воды) из ММ-25 на двухосном лафете [7]. Учитывая современную загруженность таких заводов, возможно, быстро изготовить такое необходимое число новой

¹ (Отчет НИР «Разработка научно обоснованных предложений по созданию импульсно-распылительной техники для тушения горящего фюзеляжа самолета и авиатоплива вокруг аварийного самолета на взлетно-посадочной полосе» (НИР «Тушение авиатранспорта») (п. 1 раздела VI Плана НИР и ОКР МЧС России на 2021 год и плановый период 2021 и 2022 годов, утвержденного приказом МЧС России от 29.01.2021.)

техники на менее загруженных заводах дружественных стран. Предлагаются различные прототипы ММ использовать для создания стационарной Системы быстрого тушения пожаров, поджогов – последствий диверсий и ракетно-артиллерийских обстрелов на Крымском мосту.

На Чернобыльской АЭС с 1994 г. работают 2 гусеничных, бронированных, пожарных машины «Импульс-3М», оснащены бульдозерными ножами, системами защиты экипажа от радиационной пыли и токсичных паров, газов. Эта единственная в мире пожарная машина способна далеко (до 110 м), эффективно и масштабно (до 1000 м²) залпом из 10 стволов тушить пожар. Это особенно необходимо в период ракетно-артиллерийского обстрела, когда нужно неотложно начать тушение пожара и снизить тепловое воздействие на металлические конструкции и предотвратить обрушение моста. Без перезарядки «Импульс-3М» тушит различные пожары на площади от 3500 м² до 4500 м². Системы защиты экипажа и броня корпуса шасси обеспечивают высокий уровень безопасности экипажа из 2-х человек при тушении в период ракетно-артиллерийского обстрела, атаки диверсантов на объект.²

Распылитель выстрелом впервые создан в июне 1986 г. в Чернобыльской зоне для накрытия локальной площади с пятном радиоактивной пыли. В 1993 г. министр МЧС Украины В. М. Кальченко финансировал выпуск опытно-промышленной партии и организовал её эксплуатацию в частях МЧС Киевской и Черкасской областей. В 2012 г. огнетушитель и линия по его производству на ГКБ «Луч» (Киев) сертифицированы по евростандартам. В 2013 г. документация передана на завод горного оборудования им. Петровского (г. Донецк) для промышленного выпуска новых огнетушителей – надёжного, быстрого дистанционного тушения возгораний на конвейерных лентах, угольных комбайнах и др. опасных участках в шахтах. В 2008–2012 гг. огнетушитель модернизирован на фирме «PulsTECH» (Эстония) для применения на морских судах. Испытан для тушения лесных пожаров дальним распылом песка, грунта – сухих и увлажнённых, природной воды с примесями, пыли. Эффективное тушение песком, грунтом впервые позволяет автономно тушить много локальных очагов. Это наиболее ценно в условиях войны – тушения и защиты пожарными, солдатами, жителями пожаров – последствий ракетно-артиллерийских обстрелов и авиабомбардиро-

вок. ПРИВ незаменим при тушении пожаров на мосту пожарными, охранниками, солдатами, добровольцами.

Пример возможного применения технологии быстрого тушения пожара железнодорожного состава на Крымском мосту. В результате подрыва большегрузного автомобиля произошло обрушение двух пролётов автомобильного путепровода моста, а также повреждение осколками и возгорание 7 цистерн с топливом на железнодорожной части моста товарного состава. Машинист состава применил экстренное торможение, и ему удалось остановить состав задолго до Арочной части моста, установленной над судоходным каналом в Керченском проливе.

По данным МЧС Крыма, в тушении пожара принимало участие около 250 человек, 70 единиц техники. Пожар потушили за 6 часов, после 16 часов дня по уцелевшей части автомобильного путепровода было запущено реверсивное движение легковых автомобилей. Из-за высокой температуры и длительности горения были деформированы рельсы, тележки, рамы и даже колёсные пары пострадавших цистерн. В тушении пожара принимали участие пожарный вертолёт Ми-8 и пожарный поезд в составе трёх цистерн с водой ёмкостью по 72,3 м³ (всего 215-217 тонн), вагонов: штабного, насосной станции. Пожарный вертолёт был оборудован стандартным водосливным устройством (ВСУ), ёмкостью 4 тонны воды. Воду вертолёт набирал в ВСУ рядом с мостом, прямо из пролива.

Рассмотрим версию применения технологии ускоренного тушения техногенных и других сложных пожаров. Длина пострадавшей части товарного состава – 7 топливных цистерн, стандартная железнодорожная цистерна имеет длину 12 м, длина сцепки 7 цистерн – 84 м. Многоствольные модули стационарно размещённые на платформе, для дистанционного тушения на дальности до 200–300 м, надёжно, масштабно, экологически чисто, с малыми удельными расходами огнетушащих составов (ОС) и природных компонентов: воды, включая загущённую, песка и грунта – сухих и увлажнённых, пыли и др., надёжно тушат всю полосу ответственности РЖД вдоль колеи. Возможно тушить без остановки поезда, например, когда мотовоз буксирует платформу с ММ по соседнему пути с горящим поездом.

Мотовоз МПТГ-2 производит Тихорецкий машиностроительный завод, подходит для монтажа ММ, аналогичных «Импульс-3М» на танковом шасси. Шасси САУ «Коалиция», «Берег» Россия, «Дана» – базовый автомобиль ТАТРА-815, «Колос» удобны для монтажа базированной ММ-50 (72) и системы управления ав-

² Лучший пожарный танк – с 1990 г. и наиболее перспективный, отвечает задачам настоящего времени: сайт. URL: <https://warspot.ru/3080-zagadochnyy-impuls>.

тономным тушением масштабных пожаров: в зонах без работающих водопроводов и близко расположенных водоёмов, комбинированное тушение кустарника, высокой травы, сбивание пламени, масштабное осаждение Дыма, нейтрализация токсичного, взрывоопасного облака. Просторная кабина мотовоза позволяет перевозить группу пожарников-спасателей, вооружённых многоразовыми профи-огнетушителями.

Возимые на одной платформе до 4-х Роботов «Милрем» (Эстония) грузоподъёмность $M=1000$ кг с многоствольным модулем, содержащим до 600 кг огнетушащего состава, дальность тушения залп 6 стволов до 60-80 м, площадь до $S = 300-350$ м², общая площадь тушения 6-ю залпами $S = 2300-3500$ м², в зависимости от интервалов между залпами. Возможна загрузка другой платформы пожарным танком «Импульс-3М». Платформы со стационарными многоствольными модулями могут быть в начале и конце поезда с диапазоном тушения в телесном угле до 270°.

Профи-огнетушителями целесообразно оснастить в первую очередь пожарных-десантников на мотовозе, прицепных платформах для тушения пожаров и защиты самого поезда от огня, охранников железнодорожных объектов, дальнего тушения водой – до 10 м, порошком – до 17 м, песком – до 25 м. Профи-огнетушитель незаменим при тушении возгораний и очагов пожара Леса, на станции, различных объектах, в лесу, степи, радиус действия пожарных с ПРИВ ограничен только числом носимых распылительных патрончиков до 500 шт. общим весом около 4 кг. Одним распылом можно потушить очаг горения на площади от 2 до 12 м², поэтому боекомплекта пожарному хватает на активное тушение очагов природных пожаров на большой территории.

Возможно быстрое, эффективное тушение части Крымского моста мотовозом с ММ или пожарным поездом, имеющим платформы с ММ. Зона тушения газокапельным Шквалом имеет дальность до 120 м, ширину по текущему значению ширины фронта Шквала до 10 м. Шквал создан залпом 10 стволов из ММ-50 или одновременными залпами по 6 стволов из двух ММ-24 (36), установленных на пожарном мотовозе МПТГ-2. На прицепной платформе мотовоза или пожарного поезда могут монтироваться два ММ-50 и стеллаж между ними с 500 огнетушащими контейнерами.

При залпах из двух ММ-50 на платформе создается газокапельный Шквал со

сплошным фронтом, расширяющимся по траектории до 150 м, в ширину до 12-22 м, в высоту до 3,5 м. По площади прохождения фронта обеспечивается тушение всех видов пожаров, осаждение дыма, спасение пассажиров из горящих вагонов и обитателей горящих зданий. Локомотив пожарного поезда, который подошёл по второму пути, находится на расстоянии около ста метров от крайней цистерны и около 160-170-ти метров от горящей цистерны. Если бы это был пожарный мотовоз МПТГ-2 с ММ-50, то он мог бы оперативно с этого места сбить пламя с горящей цистерны на расстоянии, вдвое превышающем взаимное расположение мотовоза и пострадавшего объекта. МПТГ-2 может тушить горящие автомобили на автомобильной части моста на расстоянии до 100 м в обе стороны. Если на дежурстве держать два пожарных мотовоза МПТГ-2 в постоянной боевой готовности, по одному на каждом берегу, тем более 2 пожарных поезда с двумя платформами с ММ-50 можно быстро тушить возгорания и пожары железнодорожных составов, автомобилей на соседнем путепроводе. Быстрое тушение горящей сцепки из 7 железнодорожных цистерн на Крымском мосту возможно с помощью двух ММ-50 на железнодорожной платформе пожарного поезда и ММ-72 или с шасси колёсных танков с позиции на автомобильном мосту, параллельном железнодорожному.

Данный системный подход к оснащению принципиально новой техникой пожаротушения и многоплановой защиты позволит обеспечить стратегической объект Крымский мост комбинированной защитой, сочетающей стационарную автоматическую систему с исполнительными многоствольными модулями залпового распыления, защищающими каждый свой участок длиной до 100 м с созданием в сумме сплошных полос тушения на железнодорожном и автомобильном мостах, быстроходные бронированные автомобили с башенными многоствольными модулями дальностью тушения до 150 м, оснащение охраны моста, технического персонала, полиции ручными распылителями выстрелом с дальностью тушения до 10-17 м возгораний и поджогов в начальной стадии развития. Это создаст новое качество защиты моста и на его опыте других стратегических объектов транспорта России в сложной международной обстановке военного противостояния. Это будет важным вкладом в общий показатель безопасности страны.

Список литературы

1. Милованов А. Ф. Железобетонные температуростойкие конструкции // М.: НИ ИЖБ, 2005. 234 с.

2. Парфёнов А. А., Сивакова О. А., Гусарь О. А. Работа и разрушение бетона в условиях высокой и низкой температуры // Строительные материалы. 2019. № 3. С. 64–67.

3. Dusenberry O. D. Review of existing guidelines and provisions related to progressive collapse workshop. Arlington, 2004.

4. Razdolsky L. Explosion in a high-rise building // Proceedings of Structures Congress 2005. N.Y.: American Society of Civil Engineers, 2005, pp. 1–12. DOI: 10.1061/40753(171)215

5. Ройтман В. М. Особенности проектирования огнестойкости конструкций и зданий при особых воздействиях с участием пожара // Пожаровзрывобезопасность. 2013. Т. 22, № 7. С. 47–54.

6. ASTM E 119. Standard Test Methods for Fire Tests of Building Construction and Materials // West Conshohocken: American Society for Testing and Materials, 2000.

7. Ройтман В. М. О механизме прогрессирующего обрушения высотного здания ВТЦ-7 во время событий 11 сентября 2001 года в Нью-Йорке // Пожаровзрывобезопасность. 2015. Т. 24, № 10. С. 37–44. DOI: 10.18322/PVB.2015.24.10.37-44

8. Костюченко Е. Г., Захматов В. Д. Определение предельных состояний пустотных преднапряжений железобетонных плит перекрытий при огневом воздействии под нагрузкой // Пожаровзрывобезопасность. 2018. Т. 27. № 2–3. С. 67–74.

9. Захматов В. Д., Клейменов А. В. Анализ разработок специальных пожарных машин для защиты объектов нефтегазового комплекса (Части 1, 2) // Проблемы управления рисками в техносфере. 2017. № 4 (44). С. 17–25.

2. Parfyonov A. A., Sivakova O. A., Gusar O.A. Rabota i razrushenie betona v usloviyax vy`sokoj i nizkoj temperatury` [Work and destruction of concrete in conditions of high and low temperature]. *Stroitel`ny`e materialy`*, 2019, issue 3, pp. 64–67. DOI 10/31659/0585-430X-2019-768-3-646

3. Dusenberry O. D. Review of existing guidelines and provisions related to progressive collapse workshop. Arlington, 2004.

4. Razdolsky L. Explosion in a high-rise building // Proceedings of Structures Congress 2005. N.Y.: American Society of Civil Engineers, 2005, pp. 1–12. DOI: 10.1061/40753(171)215

5. Rojtmán V. M. Osobennosti proektirovaniya ognestojkosti konstrukcij i zdaniy pri osoby`x vozdeystviyax s uchastiem pozhara [Features of designing fire resistance of structures and buildings with special influences with the participation of a fire]. *Pozharovzry`vobezopasnost`*, 2013, vol. 22, issue 7, pp. 47–54.

6. ASTM E 119. Standard Test Methods for Fire Tests of Building Construction and Materials// West Conshohocken: American Society for Testing and Materials, 2000.

7. Rojtmán V. M. O mexanizme progressivnyushhego obrusheniya vy`sohnogo zdaniya VTCz-7 vo vremya sobytij 11 sentyabrya 2001 goda v N`yu-Jorke [On the mechanism of the progressive collapse of the VTC-7 high-rise building during the events of September 11, 2001 in New York]. *Pozharovzry`vobezopasnost`*, 2015, vol. 24, issue 10, pp. 37–44. DOI: 10.18322/PVB.2015.24.10.37-44

8. Kostyuchenko E. G., Zaxmatov V. D. Opredelenie predel`ny`x sostoyanij pustotny`x prednapryazhenij zhelezobetonny`x plit perekry`tij pri ognevom vozdeystvii pod nagruzkoj [Determination of the maximum states of hollow pretense of reinforced concrete slabs of ceilings with firing exposure under load]. *Pozharovzry`vobezopasnost`*, 2018, vol. 27, issue 2–3, pp. 67–74.

9. Zaxmatov V. D., Klejmenov A. V. Analiz razrabotok special`ny`x pozharny`x mashin dlya zashhity` ob`ektov neftegazovogo kompleksa (Chasti 1, 2) [Analysis of the development of special fire engines to protect the oil and gas facilities (part 1, 2)]. *Problemy` upravleniya riskami v texnosfere*, 2017, vol. 4 (44), pp. 17–25.

References

1. Milovanov A. F. Zhelezobetonny`e temperaturostojkie konstrukcii [Reinforced concrete temperature structures] // M.: Neither ILB, 2005. 234 p.

Захматов Владимир Дмитриевич

Санкт-Петербургский университет государственной противопожарной службы МЧС России им. Героя Российской Федерации генерала армии Е. Н. Зиничева,
Российская Федерация, Санкт-Петербург

доктор технических наук, профессор, старший научный сотрудник отдела планирования, организации и координации научных исследований центра организации научно-исследовательской

и редакционной деятельности

E-mail: zet.pulse@gmail.com

Zakhmatov Vladimir Dmitrievich

Saint-Petersburg University of State Fire Service of EMERCOM of Russia named after the Hero of the Russian Federation General of the Army E. N. Zinicheva,
Russian Federation, Saint-Petersburg

doctor of Technical Sciences, professor, senior researcher of the department of planning, organization and coordination of scientific research of the center for the organization of research and editorial activities

E-mail: zet.pulse@gmail.com,

Крутолапов Александр Сергеевич

Санкт-Петербургский университет государственной противопожарной службы МЧС России им. Героя Российской Федерации генерала армии Е. Н. Зиничева,
Российская Федерация, Санкт-Петербург

доктор технических наук, профессор, профессор кафедры пожарной, аварийно-спасательной техники и автомобильного хозяйства

E-mail:krutolapov75@list.ru

Krutolapov Alexander Sergeevich

Saint-Petersburg University of State Fire Service of EMERCOM of Russia named after the Hero of the Russian Federation General of the Army E. N. Zinicheva,
Russian Federation, Saint-Petersburg

doctor of Technical Sciences, professor, professor of the department of fire, rescue equipment and automotive facilities

E-mail:krutolapov75@list.ru

Щербак Николай Владимирович

ООО «Зола»,
Российская Федерация, Санкт-Петербург
кандидат технических наук, главный конструктор

E-mail: vksys.nikolay@gmail.com

Shcherbak Nikolai Vladimirovich

Zola LLC,
Russian Federation, Saint-Petersburg
Candidate of Technical Sciences, Chief Designer

E-mail: vksys.nikolay@gmail.com

УДК 614.84.

ИССЛЕДОВАНИЕ ОСТАТКОВ ИНИЦИАТОРОВ ПОДЖОГА

Л. В. КОНДРАТЬЕВА, Ю. Н. КОВАЛЬ

ФГБОУ ВО Сибирская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,
Российская Федерация, г. Железногорск
E-mail: a_yulya@inbox.ru

Статья освещает вопросы исследования как традиционных так и нетрадиционных инициаторов горения. Описаны результаты обнаружения экспресс-методом остатков ускорителей поджога и результаты, полученные при анализе остатков инициаторов горения с помощью применения тонкослойной хроматографии. При проведении исследования традиционных инициаторов горения методом тонкослойной хроматографии был сделан вывод о легкости проведения эксперимента и точности получения контрольных данных. Экспресс-метод позволяет исключить применение сложных, затратных и продолжительных во времени методов при исследовании причин возникновения пожаров, связанных с поджогами.

Ключевые слова: остатки горения, традиционные и нетрадиционные инициаторы горения, экспресс-методы, пожарно-техническая экспертиза, пожары, экспертное исследование.

INVESTIGATION OF THE RESIDUES OF THE ARRES

L. V. KONDRATIEVA, Yu. N. KOVAL

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education Siberian Fire
and Rescue Academy of the State Fire Service of the Ministry of Emergency Situations of Russia,
Russian Federation, Zheleznogorsk
E-mail: a_yulya@inbox.ru

The article highlights the research questions of both traditional and non-traditional combustion initiators. The results of the detection of residues of ignition accelerators by the express method and the results obtained from the analysis of residues of combustion initiators using thin layer chromatography are described. When conducting a study of traditional combustion initiators by thin-layer chromatography, it was concluded that the experiment was easy to carry out and the accuracy of obtaining control data was made. The express method makes it possible to exclude the use of complex, costly and time-consuming methods in the study of the causes of fires associated with arson.

Key words: combustion residues, traditional and non-traditional combustion initiators, express methods, fire-technical expertise, fires, expert study.

Введение

Согласно данным МЧС России среднее число пожаров составляет около 166 тысяч в год, среднее число жертв от пожаров составляет 11 тысяч человек в год. Одной из основных причин большинства пожаров являются поджоги.

Ускорители (акселеранты) или инициаторы горения – это вещества, которые могут быть использованы как средства поджога [1]. До недавнего времени точное определение причин пожара являлось практически невозможным в связи с техническими сложностями, так как место преступления является сложнейшим объектом экспертного исследования. В настоящее время уделяется большое внимание вопросам анализа инициаторов горения на месте пожара. За последние десять лет от-

мечается снижение преступлений связанных с поджогами. В этом есть определенная заслуга методов экспертизы, которая выявляет способы и методы поджогов, и позволяет оперативно выявить причину преступления. В пожарно-технической экспертизе для анализа вещественных доказательств поджога, на сегодняшний день, существует достаточно широкий перечень методов исследования.

Пожарно-техническая экспертиза – новое направление, успешно развивающееся в России. С помощью методов пожарно-технической экспертизы становится возможным идентифицировать следы инициаторов поджога. Для этого применяют полевые и инструментальные методы для исследования.

При поджогах используют традиционные (легковоспламеняющиеся и горючие жидкости) и нетрадиционные (специальные составы) инициаторы горения. Нетрадиционные и

традиционные средства поджога являются сильными ускорителями реакции горения и существенно воздействуют на возникновение и поддержание пожара [2, 3].

Чаще всего преступники используют горючие и легковоспламеняющиеся жидкости, которые принято относить к традиционным средствам поджога – моторные топлива, горючие и легковоспламеняющиеся жидкости. При проведении пожарной экспертизы необходимо обращать внимание на остатки ГЖ и ЛВЖ в тех местах, куда они могли попасть при пожаре. Компоненты светлых нефтепродуктов на тканях и почве, не подвергшихся нагреву, можно обнаружить даже через два месяца [4, 5].

При выезде на место пожара специалист судебно-экспертного учреждения федеральной противопожарной службы «Испытательная пожарная лаборатория» обязан установить техническую причину возникновения пожара и оказывать помощь в сборе вещественных доказательств. Обнаружение инициаторов горения на месте пожара производится в рамках осмотра места происшествия и включает в себя тщательный осмотр места происшествия, отбор проб для лабораторных исследований. Изъятые образцы, упаковываются в соответствии с требованиями, предъявляемыми к вещественным доказательствам, подписываются следователем (дознавателем), понятными, присутствующими при проведении осмотра места происшествия [6].

Для пожарно-технических исследований пробы, которые отобраны после пожара, выступают сложным специфическим объектом. Пробы, взятые после пожара, являются вещественными неизвестной природы. Стоит отметить, что вывод эксперта для суда очевиден, когда он доказан экспериментальными исследованиями и подтвержден их результатами.

Цель исследования – получение результатов экспериментальных исследований по определению наличия в образцах специальных поджигающих составов при расследовании дел о пожарах связанных с поджогами.

Объектом исследования являлись инициаторы горения. В процессе работы были проанализированы нетрадиционные и традиционные инициаторы горения, способы и методы их выявления на месте пожара, основные методы лабораторных исследований специальных поджигающих составов, произведена интерпретация результатов.

Среди традиционных инициаторов горения применяют – бензин, растворители (бензин «калоша», уайт-спирит, ацетон, спирт), товары парфюмерной и косметической промышленности. Вторую – нетрадиционную группу инициаторов горения, составляют особые

поджигающие составы (смеси на основе активных окислителей и различные пиротехнические составы) [5].

Когда применяется нетрадиционный инициатор горения, на месте пожара может оставаться окислитель в двух состояниях – первоначальном (окисленном) и восстановленном. То есть реагенты могут менять своё первоначальное состояние в ходе пожара, образуя новые соединения.

В зависимости от поставленной перед исследователем задачи после обнаружения и последующего отбора инициатора горения, исследователь применяет один или несколько методов для идентификации или диагностики потенциального аналита.

Для определения нетрадиционных методов поджога используют реактивные индикаторные средства. Данный метод относят к полевым способам, который позволяет идентифицировать принадлежность реагентов к определённым группам от нескольких секунд до 10 минут. С помощью реактивных индикаторных средств можно определить наличие в изъятых пробах – фенолов, кетонов, металлов, аминов и даже хлора, перекисей, нитритов и фосфатов. Использование реактивных индикаторных средств основано на специфических химических реакциях индикаторов различной природы и искомым веществ. Окраска применяемого индикатора при этом изменяется в результате взаимного восстановления и окисления индикатора и окислителя.

В рамках исследования мы проанализировали с помощью индикаторных растворов смывы с образцов после огневой обработки. Для анализа использовались следующие индикаторные растворы:

1. Раствор на основе дифениламинсульфоната натрия в серной кислоте.
2. Раствор на основе дифениламина в серной кислоте.
3. Раствор индигокармина.
4. Раствор бензидина в уксусной кислоте.

Тестовые определения смывов с образцов выполнялись поочередно каждым индикатором и сравнивались с эталонными тестами.

Результаты исследования нетрадиционных инициаторов горения

Окислители разных групп: нитратов, группа перхлоратов и хлоратов, группа перманганатов и прочих окислителей могут диагностироваться индикаторами. При этом индикаторы приобретают при взаимодействии с окислителями характерное индивидуальное окрашивание (табл. 1).

Таблица 1. Результат исследования образцов с реактивными индикаторными средствами

Цвет	Образец № 1 (NH ₄ NO ₃)	Образец № 2 (KMnO ₄)	Образец № 3 (K ₂ Cr ₂ O ₇)	Образец № 4 (NaNO ₃)	Образец № 5 (K ₂ SO ₃)
синий	дифениламин	дифениламин			
голубой	индигокармин	индигокармин		индигокармин	индигокармин
бирюзовый			индигокармин		
фиолетовый			д/ф-сульфонат натрия	дифениламин	
бесцветный	д/ф-сульфонат натрия				д/ф-сульфонат натрия
тёмно-синий			дифениламин		
светло-серый				д/ф-сульфонат натрия	
серо-синий					дифениламин

В результате проделанных экспериментов мы получили результаты, что одним из самых чувствительных индикаторов явился ДФА в серной кислоте. ДФА в серной кислоте показал высокие результаты, так как способен выявлять все тестируемые окислители и заметно окрашивать образцы обугленной древесины.

Таким образом, применение в качестве индикатора ДФА в серной кислоте в полевых условиях позволит решить проблему оперативности проведения лабораторного анализа. Тестовые ходы дают возможность достоверного определения остатков различных окислителей.

Результаты исследования традиционных инициаторов горения

Для анализа традиционных инициаторов горения использовали метод тонкослойной хроматографии. В ходе исследования образцы деревянных брусков проливали дизельным топливом и керосином. Образцы проб со смывными остатками ЛВЖ и ГЖ хроматографировали. В качестве проявителя хроматограммы использовали пары йода, а также проявление пятен в ультрафиолетовом свете. Традиционные инициаторы горения исследовали с помощью тонкослойной хроматографии. В первом варианте использовали в работе пластины Silufol с нанесенными на нее пробами.

В качестве элюентной системы использовали смесь октан-бензол. Так керосин осветительный при воздействии реагента дает проявление R_f 0,25-0,32, а дизельное топливо R_f 0,32-0,45 (табл. 2).

Таблица 2. Результаты тонкослойной хроматографии

Нефтепродукт	Проявление (УФ-свет), R_f
керосин осветительный	0,25–0,32
дизельное топливо	0,35–0,45

Визуально при дневном свете отмечают на хроматограмме положение пятен цветных веществ. При наличии флуоресцирующих веществ проявление проводят в УФ-свете (с максимумами излучения в области 254 нм).

У керосина и дизельного топлива пятно одно, серповидной формы, что хорошо выявляется в ультрафиолетовом свете [2]. Расчёт коэффициента разделения показывает 4,2.

Вторым вариантом проявления пятен является выдержка пластины в парах йода. При проявлении хроматограммы парами йода, можно было отметить изменение цвета хроматограммы. Изменение цвета происходит за счет йода, который окрашивает при сорби-

вании веществ в желтый цвет. Если в исследуемой зоне содержится углеводород ненасыщенной структуры, то цвет изменяется на коричневый. Если выявляются насыщенные углеводороды, то цвет остается белым на желтом фоне. Кроме изменения цвета на хроматограмме можно отметить проявление в различных местах нахождения пятна.

Таким образом, хроматография дает возможность отделить нефтепродукты от мешающих их определению экстрактивных веществ и обнаружить присутствие, к примеру, керосина по наличию характерных пятен в зоне R_f 0,4–1,0.

Вывод

Пробы, взятые с места пожара это сложный специфический объект пожарно-технических исследований, требующие предварительных этапов подготовки проб. Полученные данные показали, что при изучении состава для некоторых веществ наблюдаются индивидуальные особенности, позволяющие определить их групповую принадлежность.

Экспресс-метод позволяет исключить применение сложных, затратных и продолжительных во времени методов при исследова-

нии причин возникновения пожаров, связанных с поджогами.

При проведении исследования традиционных инициаторов горения методом тонкослойной хроматографии был сделан вывод о легкости проведения эксперимента и точности получения контрольных данных. Хроматография на бумаге или фольге – это один из самых дешевых методов анализа органических веществ, позволяющий получить информацию о составе источника горения и выделить органические остатки от различных добавок.

Список литературы

1. Васильев А. В., Кондратьева Л. В., Коваль Ю. Н. Качественный анализ. Лабораторный практикум: учебное пособие. Железногорск: ФГБОУ ВО Сибирская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, 2021. 143 с.

2. Воронин С. В. Существенные аспекты газожидкостной и тонкослойной хроматографии // Надзорная деятельность и судебная экспертиза в системе безопасности. 2018. № 2. С. 14–19.

3. Козлитин А. А., Лебедева В. В. Обнаружение и идентификация остатков нефтепродуктов после пожаров // Научный вестник НИИГД «Респиратор». 2018. № 3 (55). С. 68–73.

4. Микеев А. К. Поджог: причина пожара и способ совершения преступления // Пожарная безопасность. 2000. № 1. С. 128–132.

5. Стручкова М. Д., Чемезова С. Е. Обнаружение и классификация инициаторов горения при исследовании объектов пожарно-технической экспертизы // Актуальные направления фундаментальных и прикладных исследований: материалы XI международной научно-практической конференции, North Charleston, НИЦ «Академический». Том 2. 2017. С. 123–126.

6. Техническое обеспечение расследования поджогов, совершенных с применением инициаторов горения / И. Д. Чешко, М. А. Галишев, С. В. Шарапов [и др.] 2002. 131 с.

praktikum: uchebnoe posobie [Qualitative analysis. Laboratory workshop: manual]. Zheleznogorsk: FGBOU VO Sibirskaya pozharно-spasatel'naya akademiya GPS MCHS Rossii, 2021. 143 p.

2. Voronin S. V. Sushchestvennye aspekty gazozhidkostnoj i tonkoslojnoj hromatografii [Essential aspects of gas-liquid and thin layer chromatography]. *Nadzornaya deyatelnost' i sudebnaya ekspertiza v sisteme bezopasnosti*, 2018, issue 2, pp. 14–19.

3. Kozlitin A. A., Lebedeva V. V. Obnaruzhenie i identifikaciya ostatkov nefteproduktov posle pozharov [Detection and identification of petroleum product residues after fires]. *Scientific bulletin of NIIGD "Respirator"*, 2018, vol. 3 (55), pp. 68–73.

4. Mikeev A. K. Podzhog: prichina pozhara i sposob soversheniya prestupleniya [Arson: the cause of the fire and the method of committing the crime]. *Pozharnaya bezopasnost'*, 2000, issue 1, pp. 128–132.

5. Struchkova M. D., Chemezova S. E. Obnaruzhenie i klassifikaciya iniciatorov gorenija pri issledovanii ob"ektov pozharно-tekhnicheskoj ekspertizy [Detection and classification of combustion initiators during the study of fire-technical examination objects]. *Aktual'nye napravleniya fundamental'nyh i prikladnyh issledovanij: materialy XI mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii*, North Charleston, NIC «Akademicheskij», vol. 2, 2017, pp. 123–126.

6. *Tekhnicheskoe obespechenie rassledovaniya podzhogov, sovershennyh s primeneniem iniciatorov gorenija* [Technical support for the investigation of arson committed with the use of combustion initiators] / I. D. Cheshko, M. A. Galishev, S. V. Sharapov [et al.]. 2002, 131 p.

References

1. Vasil'ev A. V., Kondrat'eva L. V., Koval' Yu. N. *Kachestvennyj analiz. Laboratornyj*

Кондратьева Лариса Владимировна

ФГБОУ ВО Сибирская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,
Российская Федерация, г. Железногорск
преподаватель

E-mail: telez@rambler.ru

Kondratieva Larisa Vladimirovna

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education Siberian Fire and Rescue Academy
of the State Fire Service of the Ministry of Emergency Situations of Russia,
Russian Federation, Zheleznogorsk
Teacher

E-mail: telez@rambler.ru

Коваль Юлия Николаевна

ФГБОУ ВО Сибирская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,
Российская Федерация, г. Железногорск
Заведующий кафедрой, кандидат биологических наук

E-mail: a_yulya@inbox.ru

Koval Yulia Nikolaevna

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education Siberian Fire and Rescue Academy
of the State Fire Service of the Ministry of Emergency Situations of Russia,
Russian Federation, Zheleznogorsk
Head of Department, Candidate of Biological Sciences

E-mail: a_yulya@inbox.ru

УДК 614.841.264

ВЛИЯНИЕ ПОЖАРА И ЕСТЕСТВЕННОГО ИСПАРЕНИЯ НА РЕЗУЛЬТАТЫ ОБНАРУЖЕНИЯ И ИДЕНТИФИКАЦИИ КОМПОНЕНТНОГО СОСТАВА АВТОМОБИЛЬНЫХ БЕНЗИНОВ

Е. Б. КОЧЕТКОВА¹, С. Н. ЛАНИН²

¹ Судебно-экспертное учреждение федеральной противопожарной службы
испытательная пожарная лаборатория по Ярославской области,
Российская Федерация, г. Ярославль.

² Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова,
Российская Федерация, г. Москва

E-mail: spa-ekaterina@yandex.ru, silica2012@gmail.com

В статье приведены результаты исследования изменения компонентного состава автомобильного бензина при различной степени испарения методом газожидкостной хроматографии. Проанализирован состав бензина и выбор соединений, принимаемых для идентификации в качестве реперных. Предложено обоснование выбора реперных компонентов на основании расчета давления насыщенных паров. Проанализирована необходимость изучения влияния испарения в результате пожара при обнаружении и идентификации остатков легковоспламеняющейся жидкости. Обозначена проблема, возникающая при диагностике светлых нефтепродуктов в виде изменения компонентного состава, происходящего не только в результате термической деструкции, но и испарения с течением времени. Описана экспериментальная методика для изучения процесса испарения и проведено сравнение изменения отношений ароматических углеводородов к алканам, входящим в состав бензина по результатам хроматографического анализа. С помощью количественного хроматографического анализа построены графические зависимости отношения концентрации реперных ароматических углеводородов к концентрации углеводородов нормального строения от времени хранения. Проведена количественная оценка происшедших изменений при естественном испарении нефтепродукта для различного способа хранения образца. На основе полученных экспериментальных данных обозначена необходимость оценки испарения компонентов, как одного из условий, оказывающих действия на установление интенсификаторов горения.

Ключевые слова: средства поджога, испарение, газожидкостная хроматография, реперные компоненты, алканы, ароматические углеводороды

THE EFFECT OF FIRE AND NATURAL EVAPORATION ON THE RESULTS OF DETECTION AND IDENTIFICATION OF THE COMPONENT COMPOSITION OF GASOLINE

E. B. KOCHETKOVA¹, S. N. LANIN²

¹ Forensic expert institution of the Federal fire service test fire laboratory in the Yaroslavl region,
Russian Federation, Yaroslavl.

² Lomonosov Moscow State University,
Russian Federation Moscow

E-mail: spa-ekaterina@yandex.ru, silica2012@gmail.com

The article presents the results of a study of changes in the component composition of automobile gasoline at various degrees of evaporation by gas-liquid chromatography. The composition of gasoline and the choice of compounds accepted for identification as reference are analyzed. The substantiation of the choice of reference components based on the calculation of saturated vapor pressure is proposed. The necessity of studying the effect of evaporation as a result of fire during the detection and identification of flammable liquid residues is analyzed. The problem that arises in the diagnosis of light petroleum products in the form of a change in the component composition, which occurs not only as a result of thermal degradation, but also evaporation over time, is indicated. An experimental technique for studying the evaporation process is described and the changes in the ratio of aromatic hydrocarbons to alkanes included in gasoline are compared according to the results of chromatographic analysis. With the help of quantitative chromatographic

analysis, graphical dependences of the ratio of the concentration of reference aromatic hydrocarbons to the concentration of hydrocarbons of normal structure on the storage time are constructed. A quantitative assessment of the changes that occurred during the natural evaporation of petroleum products for various methods of sample storage was carried out. On the basis of the experimental data obtained, the necessity of assessing the evaporation of components as one of the conditions that have an effect on the establishment of gorenje intensifiers is indicated.

Key words: means of arson, evaporation, gas-liquid chromatography, reference components, alkanes, aromatic hydrocarbons

В данной работе исследован процесс испарения автомобильного бензина в естественных условиях на результаты его выявления и идентификацию методом газожидкостной хроматографии.

В практике расследования пожаров при отработке версии о поджоге одним из основных условий анализа по выявлению следов горючих жидкостей, является интерпретация результатов исследования и возможность отнесения установленной жидкости к средству поджога.

Следует учитывать, что само изъятие образца до поступления его на исследования занимает время оперативных действий. Также при анализе пренебрегают такими понятиями как время горения, которое часто при исследовании вообще не учитывается, либо считается от времени обнаружения пожара, и испаряемость горючей жидкости с поверхности объекта. Все эти факторы влияют на идентификацию горючей жидкости, используемой как средства поджога, и как следствие на доказательную базу при окончательном выводе о причине пожара.

В условиях значительного выгорания отдельного помещения, целого строения или иного объекта пожара определение типа горючей жидкости становится затруднительным. При этом установление факта наличия органических веществ нефтяного происхождения не может однозначно служить доказательством применения легковоспламеняющейся жидкости (ЛВЖ) как ускорителя горения. Это обусловлено разнообразием товарных легковоспламеняющихся и горючих жидкостей (ЛВЖ и ГЖ), и особенностью модификации их фракционного состава в результате влияния высокой температуры при пожаре [1].

В настоящее время в экспертной практике ведущими аналитическими методами считаются газожидкостная хроматография (ГЖХ), флуоресцентная спектроскопия (ФС) и инфракрасная (ИК) спектроскопия.

К основному и наиболее часто используемому аналитическому способу исследования жидкостей, применяемых в качестве сред-

ства поджога, относят газожидкостную хроматографию [2].

Достоинством хроматографии по сравнению с другими методами считается установление компонентного состава сложных смесей углеводородов, таких как бензины, дизельное топливо, растворители и иные органические жидкости, применяемые в качестве средств поджога.

Совершенствование хроматографического анализа поднимает глобальные вопросы: распознавание маркерных компонентов, способность качественного выделения отдельных групп веществ из многообразных соединений, определение надежной идентификации компонентов сложных смесей [3].

Красильников А. В. и Деменьтев Ф. А. отмечали [4], что в первую очередь основное условие решения точного распознавания смесей сводится к доставлению в первоначальном виде анализируемой пробы до хроматографического детектора. Прежде всего выгорают более летучие компоненты, и на объектах-носителях в поглощенном виде остаются более тяжелые соединения, в том числе различные добавки. Улетучивание и сгорание жидкости на пожаре уменьшает ее количественные показатели и преобразует компонентный состав.

На сегодняшний день суть анализа ГЖХ сводится к исследованию остатков выгорания ЛВЖ, изымаемых с мест пожара на разных объектах-носителях. При этом существующая модель заключается в определении присутствия известного набора веществ. Для примера: идентификация бензинов методом ГЖХ в качестве базовых основывается на применении пиков в увязке с термически стабильными п-, м-, о-ксилолами и триалкилбензолами. Вследствие выгорания горючей жидкости на хроматограмме отмечается увеличение пиков более высококипящих веществ, и плавное уменьшение интенсивности и исчезание пиков, свойственных для компонентов с низкой температурой кипения [3, 5, 6].

В качестве реперных компонентов для обнаружения следов автомобильных бензинов подверженных термическому воздействию при

производстве судебной пожарно-технической экспертизы Чешко И. Д. с соавторами предлагают толуол, этилбензол, *p*-, *m*-, *o*-ксилолы, пропилбензол, 1,3,5-, 1,2,4 – триметилбензолы [1, 7].

Данный выбор реперных компонентов очевиден и может быть обоснован также компонентным составом бензина в соответствии с ГОСТ 32513-2013, на основании которого установлено, что объемная доля ароматических углеводородов в автомобильном бензине составляет до 35 %¹.

На основании проанализированных данных установлено, что наряду с ароматическими углеводородами в состав бензина входят алканы нормального и изоостроения, а также оксигенаты (общее название низших спиртов и простых эфиров, применяемых в качестве высокооктановых компонентов моторных топлив), такие как этанол, изопропиловый спирт, эфиры с количеством атомов углерода в цепи C5 и выше [8].

Для обоснования выбора реперных пиков Кочетковой Е. Б. с соавторами был проведен расчет давления насыщенных паров некоторых компонентов, входящих в состав бензина с учетом их процентного содержания в смеси, в соответствии с ГОСТ 32507-2013².

Для расчета давления насыщенного пара вещества при заданной температуре использовали уравнения Антуана [9]:

$$\lg P_s = A - \frac{B}{C + t_p}, \quad (1)$$

$$P_s = 10^{\left(A - \frac{B}{C + t_p}\right)}, \quad (2)$$

где P_s – давление насыщенного пара, кПа; A , B , C – константы уравнения Антуана из справочной литературы, t_p – заданная температура.

Учитывая компонентный состав в соответствии с ГОСТ 32513-2013¹, для расчета давления насыщенного пара, были выбраны следующие вещества: ароматические углеводороды – толуол, *o*-, *m*-, *p*-ксилолы, этилбензол, пропилбензол, 1,3,5-триметилбензол, 1,2,4-триметилбензол; алканы нормального строения – гептан, октан, нонан, декан, ундекан, додекан (C7-C12); оксигенаты – изопропиловый спирт, метилтретбутиловый эфир [8].

¹ ГОСТ 32513-2013. Топлива моторные. Бензин неэтилированный. Технические условия. М., 2015. 21 с.

² ГОСТ 32507-2013 «Бензины автомобильные и жидкие углеводородные смеси. Определение индивидуального и группового углеводородного состава методом капиллярной газовой хроматографии. М., 2015. 31 с.

Значение констант уравнения Антуана взятые из [10] и рассчитанные значения давлений насыщенных паров для различных веществ при температурах 20 °С и 150 °С приведены в табл.

Из представленных в табл. данных следует, что значения давлений насыщенных паров кислородосодержащих соединений (изопропиловый спирт, метилтретбутиловый эфир) и нормальных алканов при 150 °С гораздо выше значения давлений насыщенных паров ароматических углеводородов при этой же температуре. Следовательно, при температурном воздействии ароматические соединения будут испаряться медленнее и определить их наличие будет наиболее вероятно. Таким образом, проведение указанного расчета позволило обосновать выбор аренов в качестве реперных веществ.

Определенный интерес вызывает изменение компонентного состава автомобильного бензина, происходящее не только в результате выгорания, но и испарения с течением времени. На практике объектами для исследования становятся обнаруженные на месте пожара пустые бутылки или иные предметы, на которых могла оказаться горючая жидкость, применяемая в дальнейшем в качестве интенсификатора горения.

В работе Деменьтева Ф. А. с соавторами [11] указано, что при сгорании бензинов отмечается преобладание компонентного состава ароматических углеводородов над нормальными низкокипящими алканами. Изменение структуры жидкости авторы относят к термоокислительному процессу разложения алканов. Вместе с тем варьирование состава бензинов главным образом относится к испарению легких фракций.

Для определения влияние испарения в естественных условиях автомобильного бензина (производитель «Славнефть-ЯНОС», марка – Премиум Евро-95) на результаты его обнаружения и идентификации методом газожидкостной хроматографии провели эксперимент, для которого использовали различные условия хранения анализируемой жидкости. В качестве образца № 1 использовали полимерную емкость без крышки объемом 0,5 л со следами бензина (Для получения образца в полимерную емкость поместили 0,1 л бензина. Через два часа бензин был перелит). В качестве образца № 2 использована открытая керамическая емкость объемом 0,5 л с бензином в количестве 0,1 л. В качестве образца № 3 использовали полимерную емкость объемом 0,5 л с бензином в количестве 0,1 л. Горлышко бутылки закрыли полимерной навинчивающейся пробкой.

Таблица. Значения констант уравнения Антуана и рассчитанные значения давлений насыщенных паров веществ при температурах 20 °С и 150 °С

Компонент	Константы уравнения Антуана			Давление насыщенных паров, кПа, при температурах	
	А	В	С	20 °С	150 °С
Гептан	6,9003	1266,87	216,76	35,43	2792,86
Октан	6,8117	1259,20	211,14	22,94	2106,74
Нонан	6,7998	1251,41	208,87	21,48	2054,68
Декан	6,7126	1245,36	204,46	14,55	1579,81
Ундекан	6,6279	1239,43	201,32	10,65	1258,28
Толуол	6,9533	1443,94	219,38	8,34	1107,26
о-ксилол	6,9989	1474,68	213,69	4,88	879,30
м-ксилол	7,0091	1462,27	215,11	6,16	1009,41
п-ксилол	6,9905	1453,43	215,31	6,51	1027,77
Этилбензол	6,9572	1424,26	213,21	7,08	1086,12
Пропилбензол	6,9367	1460,79	207,78	3,34	714,06
1,3,5-триметилбензол	6,9147	1483,64	203,4	1,88	520,64
1,2,4- триметилбензол	6,9014	1485,96	202,1	1,63	479,91
Изопропиловый спирт	8,7051	2058,47	246,04	9,26	3214,55
МТБЭ (метилтретбутиловый эфир)	9,1756	2156,83	235,15	5,22	3745,61

Исследование бензина Премиум Евро-95 проводили на хроматографе «Кристалл 5000.1» производства СКБ «Хроматэк», снабженным пламенно-ионизационным детектором. Условия анализа: давление газа (подвижная фаза) 109 кПа; температур: испарителя 300 °С; детектора 300 °С; начальная температура колонки 40 °С; конечная температура колонки 280 °С; время изотермы 5 мин; скорость подъема температуры 4 °С/мин; подвижная фаза – азот [1].

Эксперимент проводили в течение 8 суток. Образцы хранились при комнатной температуре 18 °С. Анализ проводили каждые 48 часов. Объем пробы составил 0,1 мкл – 1 мкл в зависимости от степени испарения исходного нефтепродукта.

Известно, что автомобильный бензин состоит из соединений разных классов, но основу его составляют *n*-алканы и ароматические углеводороды. Как было рассмотрено выше летучесть легких *n*-алканов входящих в состав бензина гораздо выше значений лету-

чести ароматических углеводородов. Для изучения процесса испарения проанализированы изменения отношения концентраций ароматических углеводородов к *n*-парафинам, входящим в состав бензина.

Сравнивая отношение количеств ароматических углеводородов – толуол, этилбензол, о-ксилол, пропилбензол, 1,3,5, 1,2,4-триметилбензол к количеству *n*-алканов С7-С12 по результатам качественного хроматографического анализа установлено, что при хранении образцов в течение 8 суток в условиях комнатной температуры уменьшаются пики, соответствующие С7-С9, при этом при анализе остатков пустой емкости без крышки (образец 1) было зафиксировано полное исчезновение пиков С7-С9, а также толуола (рис. 1, хроматограмма 4). При сравнении хроматограмм видно, что увеличивается высота пиков, соответствующих углеводородам С11-С13, а также высота пиков о-ксилол, пропилбензол, 1,3,5, 1,2,4-триметилбензол (рис. 1, хроматограммы 2, 3).

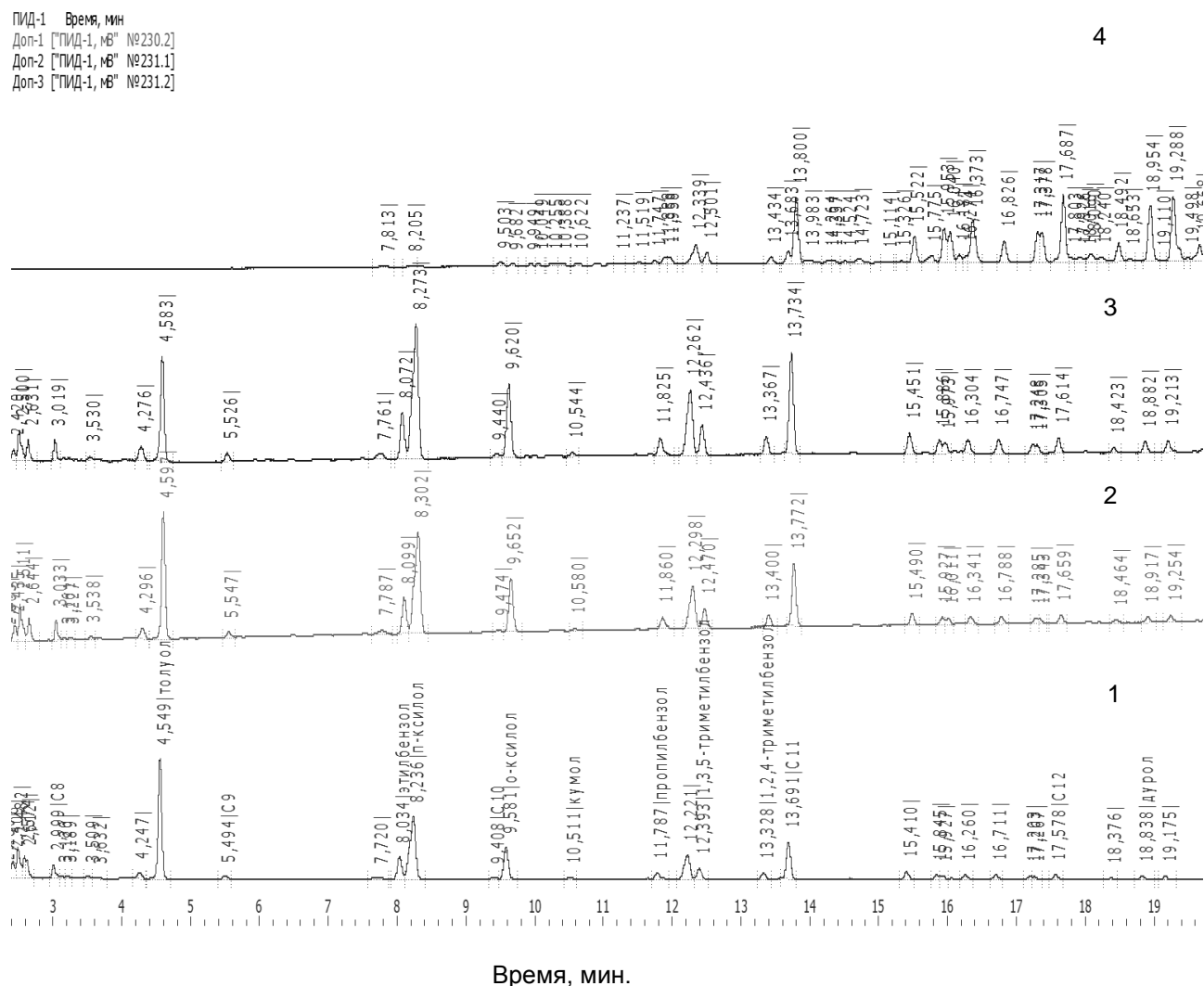


Рис. 1. Хроматограммы: 1 – исходного бензина Премиум Евро-95, 2 – анализируемой пробы бензина Премиум Евро-95 из образца № 3 после хранения в течение 8 суток, 3 – анализируемой пробы бензина Премиум Евро-95 из образца № 2 после хранения в течение 8 суток, 4 – экстракта бензина Премиум Евро-95 с поверхности образца № 1 после хранения в течение 8 суток

Количественную оценку произошедших изменений провели при сравнении отношений концентраций реперных ароматических углеводородов к легколетучим *n*-алканам ($C_{A_i}/C_{H_{V_i}}$). На основании расчета давления насыщенных паров (табл.) для сравнения были выбраны две пары отношения концентрации 1,2,4-триметилбензол к нонану ($C_{A1}/C_{H_{V1}}$) и 1,2,4-триметилбензола к декану ($C_{A2}/C_{H_{V2}}$)

Для установления количественного состава исследуемых смесей применялся метод абсолютной градуировки. Данный способ заключается в том, что в хроматографическую колонку вводили известное количество конкретного компонента и вычисляли площади

пиков с помощью программного обеспечения «Хроматек Аналитик 2,5» [1]. С целью принятия во внимание всех показателей, оказывающих влияние на исследование по полученным данным, строили градуировочный график. Далее хроматографировали анализируемую смесь и, используя график, определяли содержание данного компонента [12].

Графики зависимости концентраций выбранных пар от времени хранения образцов приведены на рис. 2-6. С учетом данных, полученных на основе качественного хроматографического анализа по результатам которого было установлено, что при хранении образца № 1 более 6 суток исчезают углеводо-

роды С7-С9, для построения графиков использовался ограниченный период хранения образцов (до 6 суток).

На основании полученных данных была зафиксирована следующая закономерность, что при хранении бензина Премиум Евро-95 в емкости с крышкой (образец 3) происходит постепенное уменьшение отношений концентрации 1,2,4-триметилбензол к С9 и к С10 в анализируемой пробе (рис. 2).

Тогда как при испарении бензина Премиум Евро-95 в образце № 2 (открытая керамическая емкость) по прошествии 6 суток, объем образца уменьшился, а отношение концентрации 1,2,4-триметилбензол к С9 и к С10 резко увеличивается (рис. 3, 4). Такая же зависимость прослеживается при исследовании проб, экстрагируемых с поверхности образца № 1 (рис. 5, 6).

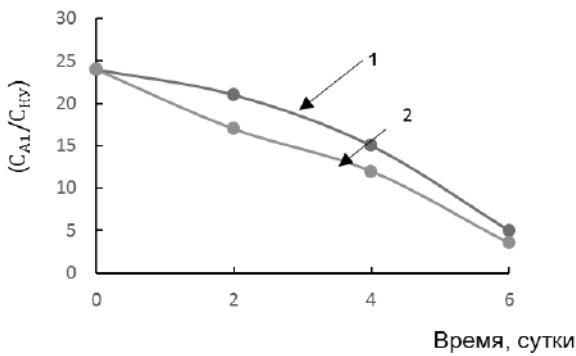


Рис. 2. Изменения отношения концентрации: 1 – 1,2,4-триметилбензола к С10; 2 – 1,2,4-триметилбензола к С9 при хранении в закрытой полимерной емкости (образец № 3)

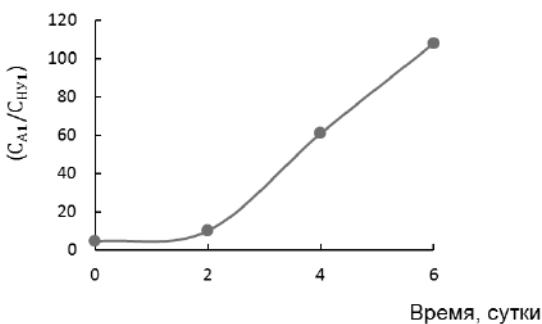


Рис. 3. Изменения отношения концентрации 1,2,4-триметилбензола к С9 при хранении в открытой керамической емкости (образец № 2)

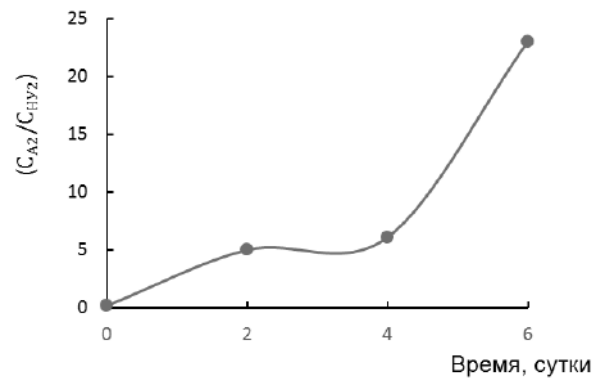


Рис. 4. Изменения отношения концентрации 1,2,4-триметилбензола к С10 при хранении в открытой керамической емкости (образец № 2)

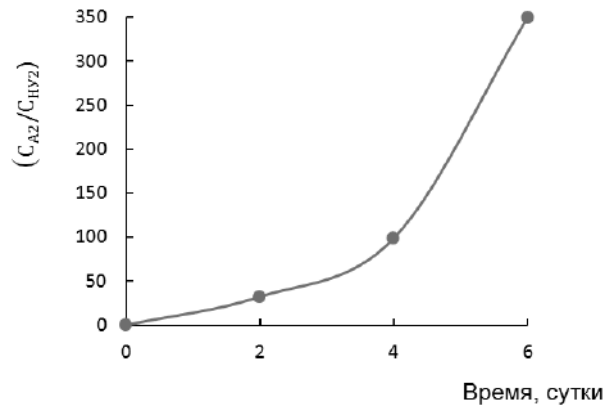


Рис. 5. Изменения отношения концентрации 1,2,4-триметилбензола к С9 при хранении в открытой емкости с остатками бензина (образец № 1)

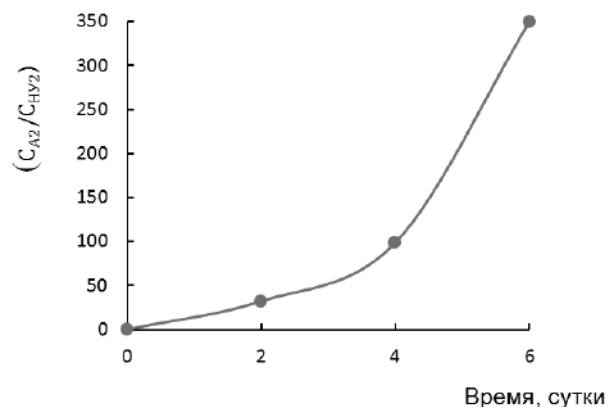


Рис. 6. Изменения отношения концентрации 1,2,4-триметилбензола к С10 при хранении в открытой емкости с остатками бензина (образец № 1)

Таким образом, установлено, что характер изменения компонентного состава автомобильного бензина зависит от условий его испарения. Наличие пиков, соответствующих ароматическим углеводородам, таким как пропилбензол, 1,3,5-, 1,2,4-триметилбензол (и более тяжелым компонентам ароматического ряда), обнаруженных при выгорании бензина до 99 %, также установлено и для практически полного испарения жидкости с поверхности объекта. Кроме того, при естественном испарении горючей жидкости зафиксировано, что наряду с аренами остаются углеводороды C11-C13, которые при различных условиях выгорания присутствуют не всегда.

Список литературы

1. Кочеткова Е. Б. Экспериментальное определение времени возникновения пожара при изучении кинетики сохранения остатков светлых нефтепродуктов в объектах-носителях разной природы // Техносверная безопасность. 2023. № 1 (38). С. 61–71.

2. Способ диагностики бензинов разной степени выгорания на основе результатов газохроматографического анализа / З. Л. Тазбаев, М. Ю. Кузьменко, Н. Б. Богородская [и др.] // Современные научные исследования: актуальные вопросы, достижения и инновации: сборник статей XXII Международной научно-практической конференции в 2 частях. Пенза: Наука и Просвещение (ИП Гуляев Г. Ю.). 2021. С. 77–82.

3. Шеков А. А. Плотникова Г. В. Факторы, влияющие на обнаружение и идентификацию интенсификаторов горения методом газовой хроматографии // Эксперт-криминалист. 2019. № 1. С. 36–38.

4. Красильников А. В., Дементьев Ф. А. К вопросу о новой методике исследования инициаторов горения при поджогах автомобилей // Надзорная деятельность и судебная экспертиза в системе безопасности. 2016. № 1. С. 21–23.

5. Миронович Л. М., Бабкина Э. С., Болук А. В. Исследование обгоревших остатков полимерных материалов методом газожидкостной хроматографии // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Техника и технологии. 2015. № 4. С. 70–73.

6. Таубкин И. С. О признаках, способах и средствах поджога // Российский следователь. 2014. № 18. С. 7–11.

7. Чешко И. Д., Плотников В. Г. Анализ экспертных версий возникновения пожара. Книга 2. СПб.: ООО «Типография «Береста», 2012. 364 с.

Выводы:

Проведенное исследование показывает, что на выявление и идентификацию горючей жидкости, в частности автомобильного бензина, влияет изменение компонентного состава не только в условиях термической деструкции, но и при естественном испарении.

Для получения реальных и научно обоснованных результатов исследования целесообразно рассматривать возможность испарения горючей жидкости как в процессе ее анализа после выгорания, так и до возникновения пожара.

8. Кочеткова Е. Б., Белинов М. С., Соловьев В. В. Обоснования выбора реперных компонентов при идентификации светлых нефтепродуктов, используемых как средства поджога, методом газожидкостной хроматографии // Трибология и проблемы МЧС России: сборник материалов международной научно-практической конференции, посвященной 90-летию образования гражданской обороны. Иваново: Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, 2022. С. 50–54.

9. Термодинамика равновесия жидкость-пар / А. Г. Морачевский, Н. А. Смирнова, Е. М. Пиотровская [и др.]. Л., 1989. 344 с.

10. Вадецкий Ю. В. Нефтегазовая энциклопедия. М., 2003. Т. 2. 380 с.

11. Дементьев Ф. А., Пророк В. Я., Красильников А. В. Изучение изменений компонентного состава бензинов от степени выгорания // Вестник Санкт-Петербургского университета Государственной противопожарной службы МЧС России. 2015. № 2. С. 49–56.

12. Прокофьев Д. В., Зенкевич И. Г. Количественный хроматографический анализ методом абсолютной градуировки с использованием дополнительного стандарта // Вестник Санкт-Петербургского университета. Серия 4. Физика. Химия. Т. 3 (61). 2016. № 3. С. 337–344.

References

1. Kochetkova E. B. Eksperimentalnoe opredelenie vremeni vzniknoveniia pozhara pri izuchenii kinetiki sokhraneniia ostatkov svetlykh nefteproduktov v obektakh-nositeliakh raznoi prirody [Experimental determination of the time of fire occurrence in the study of the kinetics of the preservation of light oil residues in carrier objects of different nature]. *Tekhnosvernaia bezopasnost*, vol. 1 (38), pp. 61–71.

2. Sposob diagnostiki benzinov raznoi stepeni vygoraniia na osnove rezultatov gazo-

khromatograficheskogo analiza [A method for diagnosing gasoline of varying degrees of burnout based on the results of gas chromatographic analysis] / Z. L. Tazbaev, M. Yu. Kuz'menko, N. B. Bogorodskaya [et al.]. *Sovremennye nauchnye issledovaniia: aktualnye voprosy, dostizheniia i innovatsii: sbornik statey XXII Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii v 2 chastyakh*. Penza: Nauka i Prosveshcheniye (IP Gulyayev G. Yu.), 2021, pp. 77–82.

3. Shekov A. A., Plotnikova G. V. Faktory, vliiaushchie na obnaruzhenie i identifikatsiiu intensifikatorov goreniia metodom gazovoi khromatografii [Factors influencing the detection and identification of gorenje intensifiers by gas chromatography]. *Ekspert-kriminalist*, 2019, issue 1, pp. 36–38.

4. Krasilnikov A. V., Dementev F. A. K voprosu o novoi metodike issledovaniia iniciatorov goreniia pri podzhogakh avtomobilei [On the question of a new method of investigating gorenje initiators in car arson]. *Nadzornaia deiatel'nost' i sudebnaia ekspertiza v sisteme bezopasnosti*, 2016, issue 1, pp. 21–23.

5. Mironovich L. M., Babkina E. S., Boluk A. V. Issledovanie obgorevshikh ostatkov polimernykh materialov metodom gazozhidkostnoi khromatografii [Investigation of burnt residues of polymer materials by gas-liquid chromatography]. *Izvestiia lugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Tekhnika i tekhnologii*, 2015, issue 4, pp. 70–73.

6. Taubkin I. S. O priznakakh, sposobakh i sredstvakh podzhoga [About signs, methods and means of arson]. *Rossiiskii sledovatel*, 2014, issue 1, pp. 7–11.

7. Cheshko I. D., Plotnikov V. G. *Analysis of expert versions of fire occurrence* [Analysis of

expert versions of fire occurrence]. SPb: OOO «Tipografiya «Beresta», 2012. vol. 2, 364 p.

8. Kochetkova E. B., Belinov M. S., Solov'ev V. V. Obosnovaniia vybora repornykh komponentov pri identifikatsii svetlykh nefteproduktov, ispolzuemykh kak sredstva podzhoga, metodom gazozhidkostnoi khromatografii [Substantiation of the choice of reference components in the identification of light petroleum products used as a means of arson by gas-liquid chromatography]. *Tribologiya i problemy MCHS Rossii: sbornik materialov mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii, posviashchennoi 90-letiiu obrazovaniia grazhdanskoi oborony*. Ivanovo: Ivanovskaya pozharo-spatatel'naya akademiya GPS MCHS Rossii, 2022, pp. 50–54.

9. *Termodinamika ravnovesiia zhidkost-par* [Thermodynamics of liquid-vapor equilibrium]. A. G. Morachevskii, N. A. Smirnova, E. M. Piotrovskaya [et al.]. L., 1989, 344 p.

10. Vadetckii Iu. V. *Neftegazovaya entsiklopediya* [Oil and Gas Encyclopedia]. M., 2003, vol. 2, 380 p.

11. Dementev F. A., Prorok V. Ia., Krasilnikov A. V. Izuchenie izmenenii komponentnogo sostava benzinov ot stepeni vygoraniia [Study of changes in the component composition of gasoline from the degree of burnout]. *Vestnik Sankt-Peterburgskogo universiteta Gosudarstvennoi protivopozharnoi sluzhby MCHS Rossii*, 2015, issue 2, pp. 49–56.

12. Prokofev D. V., Zenkevich I. G. Kolichestvennyi khromatograficheskii analiz metodom absolutnoi graduirovki s ispolzovaniem dopolnitelnogo standarta [Quantitative chromatographic analysis by absolute calibration using an additional standard]. *Vestnik Sankt-Peterburgskogo universiteta. Seriya 4. Fizika. Khimiia*, vol. 3 (61), 2016, issue 3, pp. 337–344.

Кочеткова Екатерина Борисовна

Судебно-экспертное учреждение федеральной противопожарной службы испытательная пожарная лаборатория по Ярославской области,
Российская Федерация, Ярославль
начальник сектора судебных экспертиз
E-mail: spa-ekaterina@yandex.ru

Kochetkova Ekaterina Borisovna

Forensic expert institution of the Federal fire service test fire laboratory in the Yaroslavl region,
Russian Federation, Yaroslavl
the chief of sector of legal expertise
E-mail: spa-ekaterina@yandex.ru

Ланин Сергей Николаевич

Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова (химический факультет МГУ),
Российская Федерация, Москва

доктор химических наук, профессор кафедры физической химии

E-mail: silica2012@gmail.com

Lanin Sergej Nikolaevich

Lomonosov Moscow State University (Faculty of Chemistry),

Russian Federation, Moscow

doctor of chemical sciences, professor of the department of physical chemistry

E-mail: silica2012@gmail.com

УДК 543.57:674.03

ТЕРМОГРАВИМЕТРИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ОПИЛОК ЛИСТВЕННЫХ И ХВОЙНЫХ ПОРОД ДЕРЕВЬЕВ

Н. Ш. ЛЕБЕДЕВА, Е. П. ГРИШИНА, Д. Г. СНЕГИРЕВ, Ж. Ф. ГЕССЕ, Э. Ю. ДАШЕЕВ, А. Ю. ЮСУБОВ

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

E-mail: nat.lebede2011@yandex.ru, epgrishina@yandex.ru, snegirev.1965@bk.ru, zhenni.gesse@mail.ru

Методом термогравиметрического анализа исследованы процессы горения опилок лиственных (береза, липа, ольха, осина) и хвойных (ель, сосна) пород деревьев. По кривым термогравиметрии и дифференциального термического анализа определены температуры воспламенения и выгорания коксового остатка исследуемых образцов, а также индексы воспламенения, выгорания и горения. Полученные параметры проанализированы в зависимости от химического состава древесины.

Ключевые слова: термогравиметрический анализ, лиственные породы древесины, хвойные породы древесины, опилки, показатели горения.

THERMOGRAVIMETRIC ANALYSIS OF SAWDUST OF DECIDUOUS AND CONIFEROUS TREES

**N. Sh. LEBEDEVA, E. P. GRISHINA, D. G. SNEGIREV, Zh. F. GESSE,
E. Yu. DASHEEV, A. Yu. YUSUBOV**

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

E-mail: nat.lebede2011@yandex.ru, epgrishina@yandex.ru, snegirev.1965@bk.ru, zhenni.gesse@mail.ru

Based on the curves of thermogravimetry and differential thermal analysis of the ignition temperature and the burnout temperature of the coke residue of the studied samples, ignition indices, burnout indices and combustion indices were determined. Thermogravimetry and differential thermal analysis curves were studied. The ignition temperatures, burnout temperatures of the coke residue of samples, ignition indices, burnout indices and combustion indices were determined. Depending on the chemical composition of wood, the obtained parameters were analyzed.

Key words: thermogravimetric analysis, hardwoods, deciduous wood species, coniferous wood species.

Термическая конверсия древесной биомассы становится все более важной для развития технологий топливной энергетики и пожарной безопасности. Наиболее распространенный и дешевый способ получения энергии основан на сжигании угля на теплоэлектростанциях. В последнее время появилось значительное количество работ, направленных на оптимизацию и повышение КПД процесса. Одним из возможных путей является использование смесового топлива (уголь и биомасса) [1–3]. В качестве биомассы целесообразно использовать опилки деревьев. Например, согласно работе, воспламенение смеси сосновых опилок с каменным углем происходило при температуре, близкой к темпера-

туре воспламенения опилок. При оптимальном составе смеси (70 % каменного угля и 30 % древесных опилок) достигалось также существенное уменьшение количества выбросов [4]. Биомасса считается наиболее перспективным возобновляемым источником энергии, являясь углеродно-нейтральным топливом, и выступает альтернативой ископаемому топливу. Однако, с этим источником энергии связано также много существенных проблем, таких как высокие транспортные расходы и более низкая теплотворная способность по сравнению с углем. Кроме того, в зависимости от химического состава (породы) древесины параметры горения могут отличаться. Целью данной работы является термогравиметрический анализ процессов термоокисления древесных опилок различных пород деревьев, наиболее распространенных в ЦФО и Сибири.

В работе исследовались следующие виды лиственных и хвойных пород деревьев: береза повислая (береза, *Bétula péndula*), липа мелколистная (липа, *Tilia cordata*), ольха черная (ольха, *Alnus glutinosa*), осина обыкновенная (осина, *Populus tremula*), сосна обыкновенная (сосна, *Pínus sylvéstris*), ель обыкновенная (ель, *Pícea ábies*). Образцы древесных опилок были высушены в естественных условиях, влагосодержание исследуемых образцов составляло 8–10 %. Исследуемые образцы древесины не содержали коры, степень измельчения составила (3–5)×(0,5–1)×(1–2) мм.

Термогравиметрические исследования выполнены с помощью программно-аппаратного комплекса на базе дериватографа 1000 D [5]. Используемый программно-аппаратный комплекс позволяет фиксировать три термохимических кривых: ТГ – термогра-

виметрия, ДТГ – дифференциальная термогравиметрия, ДТА – дифференциальный термический анализ.

По данным термогравиметрического анализа определяли следующие характеристики горения: индекс воспламенения (D_i) [6, 7], индекс выгорания (D_b) [8] и индекс горения (S) [9]. Используемые расчетные формулы и пояснения к ним приведены в работе [2]. При вычислениях учитывали рекомендации [2, 10].

В качестве примера на рис. 1. приведена термограмма образца древесины с установленными значениями T_i , T_b , R_{max} и T_{max} для одного из этапов.

Образцы древесины массой до 150 мг нагревали в среде воздуха до 1000 °С с постоянной скоростью нагрева – 5 °С/мин. Экспериментальные и расчетные данные приведены на рис. 2 и в табл.

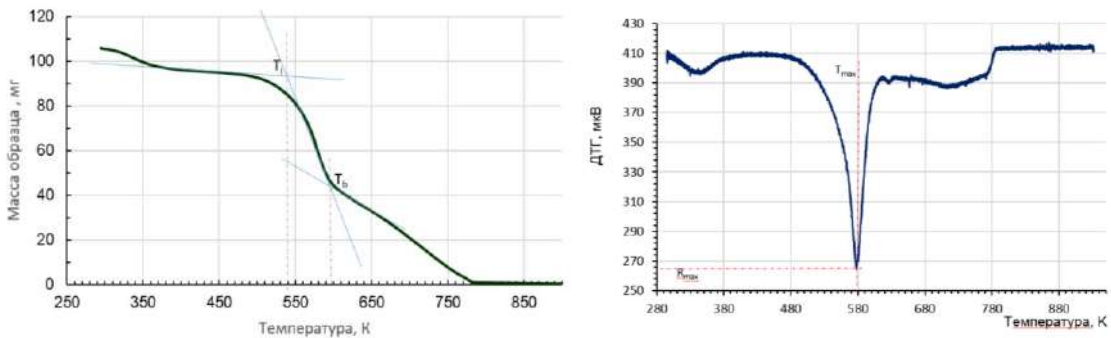


Рис. 1. Определение T_i , T_b , R_{max} и T_{max} одного из этапов горения образца липы

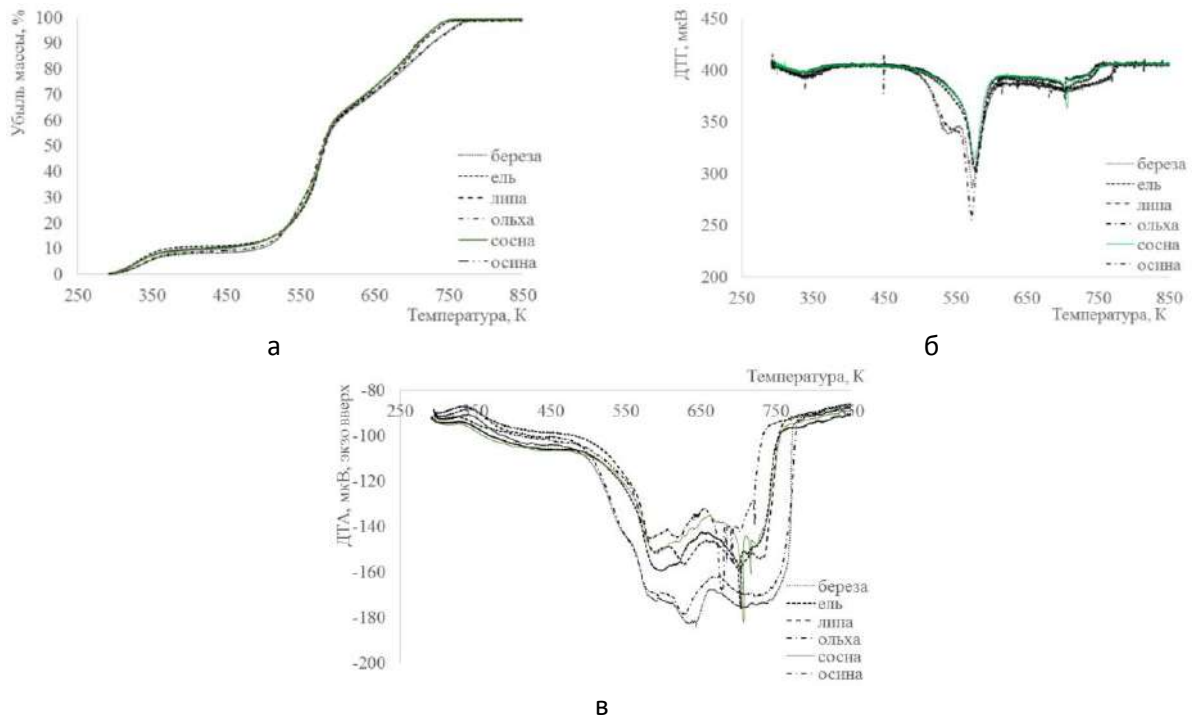


Рис. 2. Термограммы образцов древесины, полученные при нагревании со скоростью 5 °С/мин в воздушной атмосфере: а – ТГ, б – ДТГ, в – ДТА

Таблица. Расчетные данные

	T_i	T_b	T_{max}	R_{max}	R_{mean}	$\Delta t_{1/2}$	t_i	t_b	t_{max}	D_i	$D_b \cdot 10^3$	$S \cdot 10^4$
I этап												
береза	513	610	573	286	347	27	43	63	55	0,120	3,068	6,182
липа	526	601	578	264	357	24,4	46	61	57	0,101	3,130	5,668
ольха	501	596	572	255	343	30	41	60	55	0,113	2,568	5,847
осина	509	605	571	332	372	25	43	62	55	0,142	3,916	7,879
ель	545	602	577	303	355	23,8	50	62	57	0,106	3,630	6,016
сосна	544	594	576	314	356	25,6	50	60	56	0,113	3,677	6,359
II этап												
береза	610	778	713	379	387	27,2	63	96	83	0,073	1,742	5,067
липа	601	783	716	386	391	26,4	61	98	84	0,075	1,782	5,336
ольха	596	784	719	382	387	32,1	60	98	85	0,075	1,442	5,308
осина	605	736	678	371	393	17,2	62	88	76	0,079	3,214	5,412
ель	602	755	703	385	393	20,2	62	92	82	0,076	2,517	5,530
сосна	594	763	707	386	393	28,2	60	93	82	0,079	1,784	5,635

Обозначения: R_{max} – максимальная скорость потери массы, t_i и t_{max} – время воспламенения и время, соответствующее максимальной скорости потери массы, $\Delta t_{1/2}$ – временной интервал ДТГ, $R_{max} = 0,5$ по обе стороны от самого высокого пика кривой ДТГ, t_b –

время выгорания, R_{mean} – средняя скорость потери массы (от воспламенения до выгорания топливных образцов), T_i и T_b – температура воспламенения и температура выгорания топливных образцов.

Горение древесины – сложный физико-химический процесс, включающий в себя несколько этапов. Химический состав древесины различных пород, а значит и ее свойства, существенно отличаются. Очевидно, что будет различие и поведение древесины лиственных и хвойных пород при нагревании и, как следствие, ее характеристики горения, такие как индекс воспламенения, индекс выгорания, индекс горения и т.д. Физико-химический смысл характеристик горения топлив приведен в работе [2].

Из данных табл. следует, что более высокие показатели горения имеют опилки осины. Особенностью осины является то, что в отличие от других лиственных пород ее клеточная оболочка имеет более сложную структуру и повышенное содержание целлюлозы [11]. Это объясняет поведение опилок осины, отличное от образцов других лиственных пород древесины.

На первом температурном этапе происходит воспламенение опилок с последующим выгоранием целлюлозы и гемицеллюлозы, содержание которой в лиственных породах древесины выше, чем в хвойных почти в 2-3 раза [12]. Второй температурный этап характеризуется сгоранием оставшегося лигнина, содержание которого выше в хвойных породах – ели и сосне. По этой причине показатели го-

рения опилок древесины хвойных пород несколько выше. Это согласуется с экспериментальными данными, полученными в работе [13]. Все разновидности древесины относятся к быстро распространяющим пламя материалам. Однако, для ели и сосны индекс распространения пламени заметно ниже, чем у древесины лиственных пород.

Таким образом, в работе был проведен термогравиметрический анализ опилок лиственных и хвойных пород деревьев. Установлено, что температуры воспламенения опилок древесины хвойных пород одинаковы ($\pm 1^\circ\text{K}$). Для древесины лиственных пород величины T_i имеют существенный разброс и находятся в интервале $501^\circ\text{K} \dots 526^\circ\text{K}$. Опилки березы, имеющей высокую плотность, характеризуются максимальной температурой выгорания (табл., I этап). Хвойные породы древесины отличаются большим временем воспламенения исследуемых образцов. Совместный анализ полученных экспериментальных данных и химического состава древесины позволяет заключить, что в изученных условиях наиболее высокими показателями горения отличаются хвойные породы древесины и лиственная порода древесины – осина, ввиду повышенного содержания целлюлозы по сравнению с другими лиственными породами.

Список литературы

1. Co-combustion characteristics of lignite/woody biomass blends. Reactivity and fusibility assessment / D. Vamvuka, E. Loukakou, C. Avgoustidis [et al.]. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, 2019, vol. 45, issue 2, pp. 3916–3930. <https://doi.org/10.1080/15567036.2019.1668885>.

2. Термогравиметрический анализ горения каменных углей Республики Хакасия, сосновых опилок и их смесей / А. В. Жуйков, А. И. Матюшенко, П. Н. Кузнецов [и др.] // Журнал Сибирского федерального университета. Техника и технологии. 2021. Т. 14. № 6. С. 611–622.

3. Марьяндышев П. А., Чернов А. А., Константинович Л. В. Определение кинетических характеристик процесса термического разложения топлив с целью анализа топочных процессов (обзор) // *Arctic Environmental Research*. 2015. № 2. С. 118–128.

4. Co-combustion of bituminous coal and biomass fuel blends: Thermochemical characterization, potential utilization and environmental advantage / Ch. Zhou, G. Liu, X. Wang [et al.]. *Bioresource technology*, 2016, vol. 218, pp. 418–427. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2016.06.134>.

5. Программно-аппаратный комплекс для измерения сигналов дериватографа 1000D и компьютерная обработка данных термогравиметрического анализа / Н. Ш. Лебедева, С. П. Якубов, А. Н. Кинчин [и др.] // Журнал физической химии. 2005. Т. 79. № 5. С. 955–960.

6. Thermal behavior and kinetic analysis of co-combustion of waste biomass/low rank coal blends / G. Wang, J. Zhang, J. Shao [et al.]. *Energy Conversion and Management*, 2016, vol. 124, pp. 414–426. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2016.07.045>.

7. Investigation on combustion performance and ash fusion characteristics of Zhundong coal co-combustion with coal gangue / S. Deng, H. Tan, B. Wei [et al.]. *Fuel*, 2021, vol. 294, pp. 120555.

8. Combustion behaviour of biochars thermally pretreated via torrefaction, slow pyrolysis, or hydrothermal carbonisation and co-fired with pulverised coal / L. Chen, Ch. Wen, W. Wang [et al.]. *Renewable Energy*, 2020, vol. 161, pp. 867–877. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.06.148>.

9. A novel index for the study of synergistic effects during the co-processing of coal and biomass / J. M. Oladejo, S. Adegbite, Ch. Pang [et al.]. *Applied Energy*, 2017, vol. 188, pp. 215–225. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2016.12.005>.

10. Bala-Litwiniak A., Zajemska M. Computational and experimental study of pine and

sunflower husk pellet combustion and co-combustion with oats in domestic boiler. *Renewable Energy*, 2020, vol. 162, pp. 151–159.

11. Дубоделова Е. В., Снопкова Т. А., Письменский П. И. Проявление особенностей свойств древесины осины при получении древесной массы // Труды БГТУ. Серия 2: Химические технологии, биотехнология, геоэкология. 2010. Т. 1. № 4. С. 224–227.

12. Бельчинская Л. И., Новикова Л. А., Дмитренко А. И. Экология древесины: методические указания. Воронеж: ФГБОУ ВО «ВГЛТУ им. Г. Ф. Морозова». 2017. 33 с.

13. Асеева Р. М., Серков Б. Б., Сивенков А. Б. Горение и пожарная опасность древесины // *Пожаровзрывобезопасность*. 2012. № 1. С. 19–32.

References

1. Co-combustion characteristics of lignite/woody biomass blends. Reactivity and fusibility assessment / D. Vamvuka, E. Loukakou, C. Avgoustidis [et al.]. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, 2019, vol. 45, issue 2, pp. 3916–3930. <https://doi.org/10.1080/15567036.2019.1668885>.

2. Termogravimetricheskij analiz gorenija kamennyh uglej Respubliki Hakasiya, osnovnyh opilok i ih smesej [Thermogravimetric analysis of combustion of hard coals of the Republic of Khakassia, pine sawdust and their mixtures] / A. V. Zhujkov, A. I. Matyushenko, P. N. Kuznecov [et al.]. *Zhurnal Sibirskogo federal'nogo universiteta. Tekhnika i tekhnologii*, 2021, vol. 14, issue 6, pp. 611–622.

3. Mar'yandyshev P. A., Chernov A. A., Konstantinovich L. V. Opredelenie kineticheskikh harakteristik procesa termicheskogo razlozheniya topliv s cel'yu analiza topochnyh processov (obzor) [Determination of the kinetic characteristics of the process of thermal decomposition of fuels in order to analyze combustion processes (review)]. *Arctic Environmental Research*, 2015, issue 2, pp. 118–128.

4. Co-combustion of bituminous coal and biomass fuel blends: Thermochemical characterization, potential utilization and environmental advantage / Ch. Zhou, G. Liu, X. Wang [et al.]. *Bioresource technology*, 2016, vol. 218, pp. 418–427. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2016.06.134>.

5. Programmno-apparatnyj kompleks dlya izmereniya signalov derivatografa 1000D i komp'yuternaya obrabotka dannyh termogravimetricheskogo analiza [Software and hardware complex for measuring signals of the 1000D derivatograph and computer processing of thermogravimetric analysis data] / N. Sh. Lebedeva,

S. P. Yakubov, A. N. Kinchin [et al.]. *Zhurnal fizicheskoy himii*, 2005, vol. 79, issue 5, pp. 955–960.

6. Thermal behavior and kinetic analysis of co-combustion of waste biomass/low rank coal blends / G. Wang, J. Zhang, J. Shao [et al.]. *Energy Conversion and Management*, 2016, vol. 124, pp. 414–426. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2016.07.045>.

7. Investigation on combustion performance and ash fusion characteristics of Zhundong coal co-combustion with coal gangue / S. Deng, H. Tan, B. Wei [et al.]. *Fuel*, 2021, vol. 294, pp. 120555.

8. Combustion behaviour of biochars thermally pretreated via torrefaction, slow pyrolysis, or hydrothermal carbonisation and co-fired with pulverised coal / L. Chen, Ch. Wen, W. Wang [et al.]. *Renewable Energy*, 2020, vol. 161, pp. 867–877. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.06.148>.

9. A novel index for the study of synergistic effects during the co-processing of coal and biomass / J. M. Oladejo, S. Adegbite, Ch. Pang [et al.]. *Applied Energy*, 2017, vol. 188, pp. 215–225. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2016.12.005>.

10. Bala-Litwiniak A., Zajemska M. Computational and experimental study of pine and sunflower husk pellet combustion and co-combustion with oats in domestic boiler. *Renewable Energy*, 2020, vol. 162, pp. 151–159.

11. Dubodelova E. V., Snopkova T. A., Pis'menskij P. I. Proyavlenie osobennostej svojstv drevesiny osiny pri poluchenii drevesnoj massy [The manifestation of the features of the properties of aspen wood in the production of wood pulp]. *Trudy BGTU. Seriya 2: Himicheskie tekhnologii, biotekhnologiya, geoekologiya*, 2010, vol. 1, issue 4, pp. 224–227.

12. Bel'chinskaya L. I., Novikova L. A., Dmitrenkov A. I. *Ekologiya drevesiny: metodicheskie ukazaniya* [Ecology of wood: guidelines]. Voronezh: FGBOU VO «VGLTU im. G. F. Morozova», 2017, 33 p.

13. Aseeva R. M., Serkov B. B., Sivenkov A. B. Gorenje i pozharnaya opasnost' drevesiny [Combustion and fire hazard of wood]. *Pozharovzryvbezopasnost'*, 2012, issue 1, pp. 19–32.

Лебедева Наталья Шамильевна

Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, Российская Федерация, г. Иваново
доктор химических наук, доцент, профессор кафедры
E-mail: nsl@isc-ras.ru

Lebedeva Natalya Shamilyevna

Federal State Budget Educational Establishment of Higher Education «Ivanovo Fire Rescue Academy of State Firefighting Service of Ministry of Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters», Russian Federation, Ivanovo
doctor of chemistry, associate professor, professor of the department
E-mail: nsl@isc-ras.ru

Гришина Елена Павловна

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

Grishina Elena Pavlovna

Federal State Budget Educational Establishment of Higher Education «Ivanovo Fire Rescue Academy of State Firefighting Service of Ministry of Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters», Russian Federation, Ivanovo
Doctor of Technical Sciences, associate professor, professor of the department
E-mail: nsl@isc-ras.ru

Снегирев Дмитрий Геннадьевич

Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, Российская Федерация, г. Иваново
кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры
E-mail: snegirev.1965@bk.ru

Snegirev Dmitry Gennadievich

Federal State Budget Educational Establishment of Higher Education «Ivanovo Fire Rescue Academy of State Firefighting Service of Ministry of Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters»,
Russian Federation, Ivanovo
candidate of technical sciences, docent, docent of the department
E-mail: snegirev.1965@bk.ru

Гессе Женни Фердинандовна

Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,
Российская Федерация, г. Иваново
кандидат химических наук, старший преподаватель кафедры
E-mail: zhenni.gesse@mail.ru

Gesse Zhenni Ferdinandovna

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

Дашеев Эрдэни Юрьевич

Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,
Российская Федерация, г. Иваново
курсант факультета техносферной безопасности
E-mail: zhenni.gesse@mail.ru

Dasheev Erdeni Yurievich

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

Юсубов Ахмед Юсиф оглы

Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,
Российская Федерация, г. Иваново
курсант факультета техносферной безопасности
E-mail: zhenni.gesse@mail.ru

Yusubov Ahmed Yusif oglu

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

УДК 614.84

ДЕФЕКТСТОЙКОСТЬ ОБОРУДОВАНИЯ НА ОСНОВЕ Теллурида кадмия ПРИ ИМПУЛЬСНОЙ ТЕПЛОДОЗЕ ТЕХНОГЕННОГО ПОЖАРА

А. В. МОЗЖЕРИН, Н. Н. ПАКЛИН

Сибирский федеральный университет,
Российская Федерация, г. Красноярск
E-mail: Amozzherin@sfu-kras.ru, Npaklin@sfu-kras.ru

Проведено комплексное научное исследование влияния кратковременной импульсной теплоты от 100 °С до 1000 °С, возникающей в зонах теплового воздействия техногенных пожаров переменной интенсивности на полупроводниковые тонкопленочные образцы теллурида кадмия, перспективных и активно используемые сегодня в различных приборах и устройствах. Методами просвечивающей электронной микроскопии изучены отдельные процессы образования дефектов, возникающих в процессе теплового воздействия с последующим построением теоретической модели эволюции дефектной сети. Установлены границы применимости оборудования на основе теллурида кадмия и относительное время работы в экстремальных условиях чрезвычайной ситуации.

Ключевые слова: техногенный пожар, импульсное тепловое воздействие, теллурид кадмия, дефекты

DEFECT RESISTANCE OF EQUIPMENT BASED ON CADMIUM TELLURIDE UNDER PULSED HEAT DOSE OF INDUSTRIAL FIRE

A. V. MOZZHERIN, N. N. PAKLIN

Siberian Federal University,
Russian Federation, Krasnoyarsk,
E-mail: Amozzherin@sfu-kras.ru, Npaklin@sfu-kras.ru

A comprehensive scientific study of the effect of a short-term pulsed heat dose from 100 °C to 1000 °C, which occurs in the zones of thermal impact of man-made fires of variable intensity, on semiconductor thin-film samples of cadmium telluride, promising and actively used today in various devices and devices, has been carried out. Transmission electron microscopy was used to study individual processes of the formation of defects that occur during thermal exposure, followed by the construction of a theoretical model for the evolution of a defective network. The limits of applicability of equipment based on cadmium telluride and the relative time of operation in extreme conditions of an emergency are established.

Key words: man-made fire, pulsed thermal impact, cadmium telluride, defects

Введение

Активное использование в городских агломерациях различных приборов на основе полупроводниковых материалов значительно возрастает в последнее время, стратегически важным материалом в этой сфере является теллурид кадмия (CdTe). Современный город имеет сотни камер, датчиков, детекторов и других приборов, работа которых может протекать не всегда в условиях стабильной температуры окружающей среды. Нередки случаи возникновения возгораний, пожаров и других событий, в результате которых те или иные устройства испытывают тепловое воздействие, значительно превышающее установленные границы их нормальной работы.

Как правило, тушение возникшего пожара начинается спустя 20–30 минут, когда поражающие факторы, в частности температурное воздействие достигают максимальных значений. Критической температурой в помещении является значение более 70 °С, когда становятся невозможными жизнедеятельность и устойчивая работа отдельных приборов и устройств. Если воздухообмен не ограничен, то интенсивность горения увеличивается и возрастает тепловое воздействие, однако, приходящий поток воздуха имеет низкую температуру и в отдельных местах температура начинает снижаться¹. В подобной ситуации

¹ ГОСТ 2.1.004-91 «Пожарная безопасность». [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/9051953> (дата обращения 28.06.2023)

возникает так называемое кратковременной импульсное тепловое воздействие, когда за несколько секунд температура может повышаться до 100–1000 °С и стремительно падать. В этих условиях актуальным является вопрос предельной устойчивости оборудования, оказавшегося в зоне теплового воздействия, а также отдельных особенностей его деградации в результате нелинейного кратковременного воздействия тепловозды пожара.

Материалы и методы

Настоящее исследование было проведено на образцах тонких плёнок теллурида кадмия предназначенных для использования в солнечных батареях различных устройств (фонарей, камер наблюдения и т.п.).

Практическая часть работы включала электронно-микроскопические исследования образцов до и после внешнего воздействия с целью установления плотности дефектной сети, энергии дефекта упаковки и наличия иных артефактов. Оптимально необходимая толщина исследуемых образцов на просвечивающем электронном микроскопе (ПЭМ) в 20-40 нм была достигнута поэтапной пробоподготовкой, включавшей: формирование диска диаметром 3 мм, утончение его до толщины ~ 1 мм и заключительное утончение центральной части до толщины 10–30 нм. Дополнительная информация по методике и ПЭМ-исследованию приведена в [1–3].

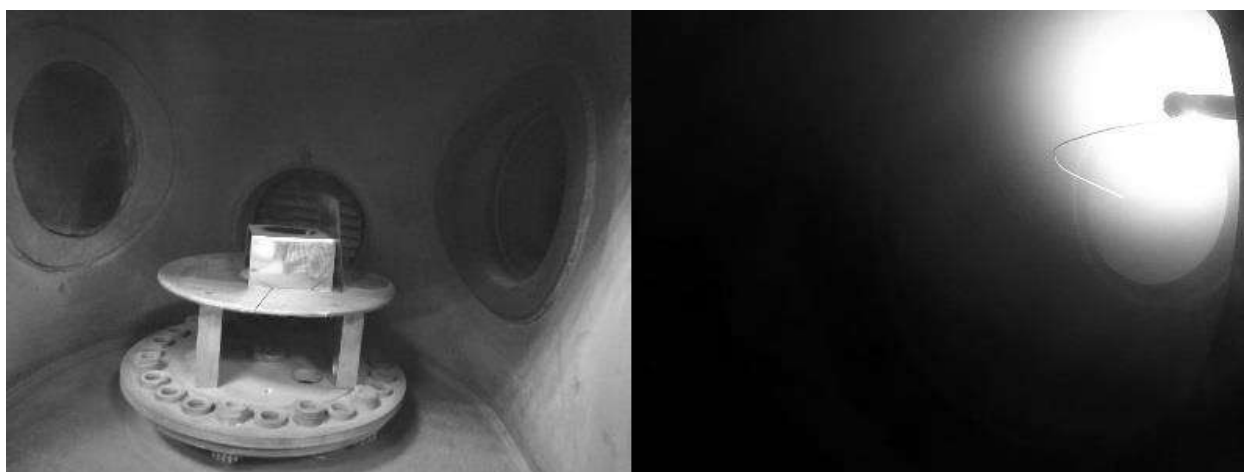


Рис 1. Экспериментальная установка и процесс имитации теплового воздействия пожара.

Внешнее воздействие на образец представляло импульсную тепловозды до ~1000 °С в течение до 10 секунд, имитирующее воздействие в зоне техногенного пожара переменной интенсивности. Установка и процесс теплового действия представлен на рис. 1.

Теоретическое исследование включало усовершенствование математической модели физико-химических и тепловых превращений при импульсном воздействии тепла от 127 °С до 1027 °С, с шагом в 100 °С в течение не более 10 секунд. Импульс моделировался формулой: $T=27^{\circ}\text{C} + A \cdot \exp(-t^2)$ (колокол Гаусса). Моделирование осуществлялось в программном пакете «Maple». Используемая математическая модель процессов дефектообразования в CdTe представлена в наших предшествующих работах [4–5].

Результаты и обсуждения

При изучении образцов теллурида кадмия, подвергавшихся тепловому импульсному

воздействию от 20 до 400 °С на ПЭМ JEOL JSM-7000F, обнаружено незначительное присутствие структурных дефектов, плотность которых не превышала 10^{15} - 10^{17} см⁻³, при исследовании образцов, подвергавшихся тепловому излучению более 600°С, обнаружены линейные и объёмные дефекты: дислокации, дислокационные стенки и дефекты упаковки (рис. 2, слева), что вероятно объясняется объединением комплексов точечных дефектов. Плотность дефектов значительно увеличилась до 10^{19} см⁻³. Полученные данные свидетельствуют о некоторой устойчивости тонких плёнок CdTe в условиях тепловозды до 400 °С, возрастание дефектной сети до указанных температур не носит критического характера и не должен приводить к быстрому отказу оборудования. Импульсное кратковременное тепловое воздействие свыше 400 °С приводит к деградации материала, что видно по значительному росту числа дефектов и формированию трещин на образцах (рис. 2, справа)

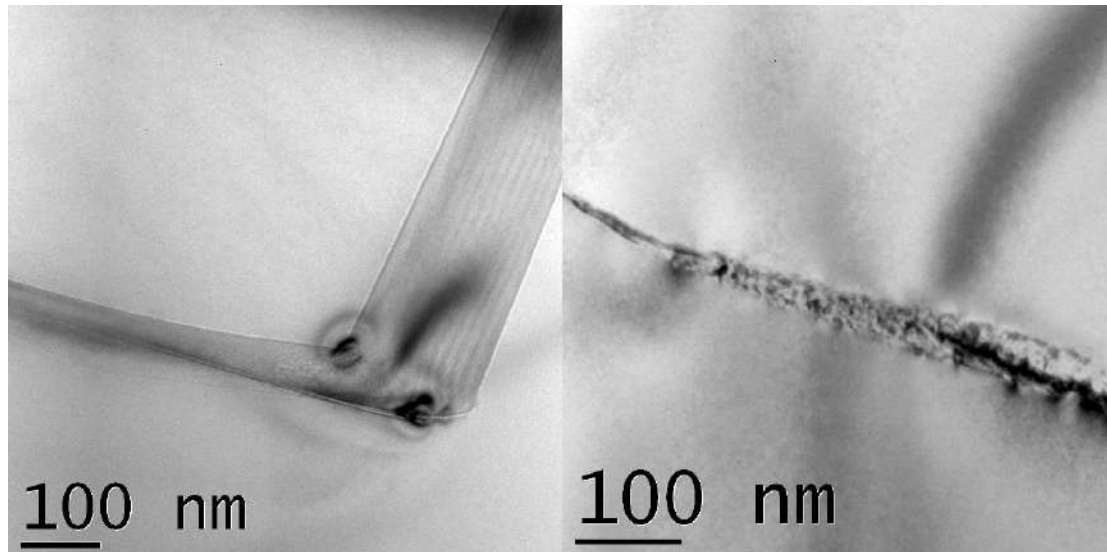


Рис. 2. ПЭМ-фотография дефектов структуры CdTe после воздействия кратковременного импульсного теплового воздействия свыше 400 °С.

В рамках теоретического исследования проведено моделирование образования междоузельных атомов и вакансий, а также их скоплений в виде дислокационных петель и пор в CdTe при кратковременном импульсном тепловом воздействии, имитирующем действие техногенного пожара.

В основу модели физико-химических превращений в образцах CdTe под действием различных тепловых доз легла группа модифицированных уравнений эволюции концентраций структурных точечных нарушений:

$$\frac{\partial n}{\partial t} = P + D_I \frac{\partial^2 n}{\partial z^2} - c_0 R(nV + 2nw - 2Vm) - 2c_0 A_I (n^2 + nm) + 2Pm \quad (1)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} = P + D_V \frac{\partial^2 V}{\partial z^2} - c_0 R(nV - 2nW + 2Vm) - 2c_0 A_V (V^2 + VW) + 2D_V W \quad (2)$$

$$\frac{\partial m}{\partial t} = c_0 A_I (n^2 - 2nm) - 2c_0 RVm - Pm \quad (3)$$

$$\frac{\partial W}{\partial t} = c_0 A_V (V^2 - 2VW) - 2c_0 RnW - D_V W \quad (4)$$

где $n = \frac{C_I}{c_0}$, $V = \frac{C_V}{c_0}$,
 $m = \frac{C_m}{c_0}$, $W = \frac{C_w}{c_0}$, t – время;

c_0 – концентрация узлов теллурида кадмия; C_I и C_V – эффективные концентрации междоузельных атомов и вакансий; C_m и C_w – эффективные концентрации димеждоузлий и дивакансий; D_I и D_V – коэффициенты диффузии (миграции) междоузельных атомов и вакансий; A_I и A_V – коэффициенты агломерации (присоединения) междоузельных атомов и вакансий,

соответственно; R – коэффициент рекомбинации, P – коэффициент диссоциации решетки кристалла, отвечающий эффективной энергии теплового рождения пар Френкеля E_p .

Для решения уравнений необходимо учитывать диффузию, влияющую на тонкие плёнки значительно, чем на макроскопические образцы. Численные значения ряда параметров, используемых в процессе расчёта, представлены в табл.

Графическое решение уравнений (1)–(4) представлены на рис.3–4.

Таблица. Численные значения ряда параметров кристалла CdTe [2, 6-8]

C_0	D_I	D_V	A_I	A_V	R	u	E_p	P	T (шаг 100°C)
cm^{-3}	cm^2/c	cm^2/c	cm^3/c	cm^3/c	cm^3/c	Гц	эВ	cm^3/c	°C
$1.5 \cdot 10^{22}$	$4.2 \cdot 10^7$	$8.3 \cdot 10^2$	$7.5 \cdot 10^4$	$1.1 \cdot 10^4$	$1.7 \cdot 10^8$	10^{13}	1.4	$2.6 \cdot 10^{-11}$	от 27 до 1027

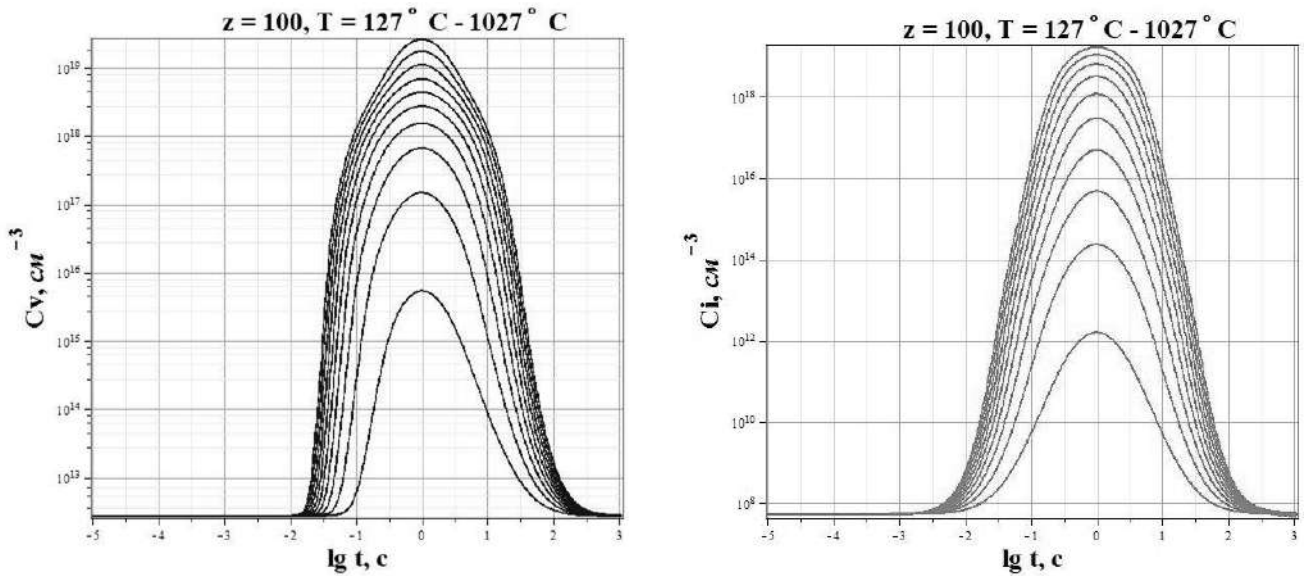


Рис. 3. Концентрации точечных дефектов (вакансий и междоузлий) при резком кратковременном тепловом воздействии

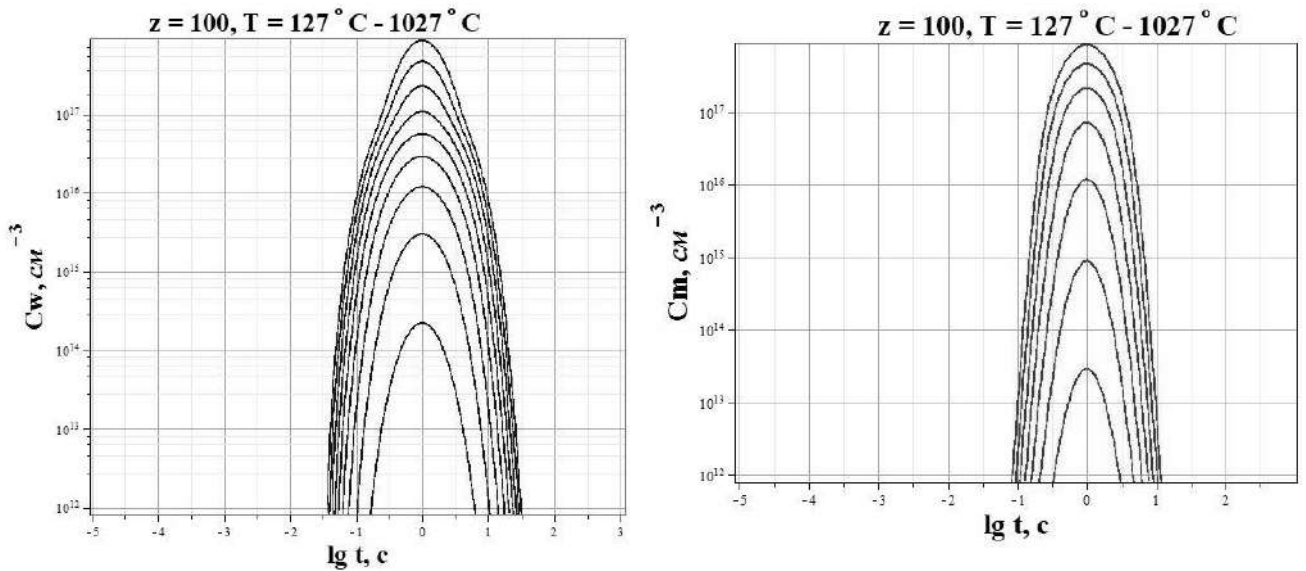


Рис. 4. Концентрации комплексов точечных дефектов (димеров и дивакансий) при резком кратковременном тепловом воздействии

Заключение

В условиях кратковременного импульсного теплового действия, имитирующего зону теплового воздействия техногенного пожара от 127 °С до 1027 °С, проведено комплексное исследование тонких плёнок теллурида кадмия, входящего в состав значимых приборов и систем современного города. Теоретические и практические результаты показали хорошую

согласованность в вопросах предела устойчивости и деградации из-за возникновения внешнего кратковременного воздействия теплодо-зы. Показана устойчивость тонкоплёночного полупроводника до температур в 400–500 °С, что даёт временной запас до начала тушения пожара и работу оборудования в экстремальной среде некоторое время.

Список литературы

1. Логинов Ю. Ю., Мозжерин А. В., Брильков А. В. Электронно-микроскопические исследования дефектообразования в легированных примесями монокристаллах CdTe, ZnS, ZnSe // Вестник Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. 2013. Вып. 3 (49). С. 209–211.
2. Логинов Ю. Ю., Браун Пол Д., Дьюроуз Кен. Закономерности образования структурных дефектов в полупроводниках A2B6. М.: Логос, 2003. 304 с.
3. Loginov Yu. Yu., Mozzherin A. V., Paklin N. N. Modeling structural defect formation in cadmium telluride during electron irradiation. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2019, vol. 467, issue 1.
4. Паклин Н. Н., Логинов Ю. Ю., Мозжерин А. В. Равновесное распределение дефектов в теллуриде кадмия до воздействия внешних факторов // Сибирский аэрокосмический журнал. 2022. Т. 23. № 2. С. 315–320.
5. Мозжерин А. В., Паклин Н. Н. Теплоустойчивость устройств на основе теллурида кадмия при пожарах в условиях переменной температуры // Пожарная безопасность. 2023. № 2 (111). С. 42–48. <https://doi.org/10.37657/vniipo.pb.2023.111.2.003>
6. Unfaulting of dislocation loops in the GaInNAs alloy: An estimation of the stacking fault energy / M. Herrera, D. Gonzalez, J. G. Lozano [et al.]. Applied Physics Letters, 2005, vol. 98, 023521, pp. 1–7.
7. Glas Frank. A simple calculation of energy changes upon stacking fault formation or local crystalline phase transition in semiconductors. Journal of Applied Physics, 2008, vol. 104, 093520. pp. 1–6.
8. Физика и химия соединений A2B6 / под ред. С. А. Медведева. М.: Мир, 1970. 624 с.

References

1. Loginov Yu. Yu., Mozzherin A. V., Bril'kov A. V. Elektronno-mikroskopicheskie is-

sledovaniya defektoobrazovaniya v legirovannykh primesyami monokristallakh CdTe, ZnS, ZnSe [Electron microscopic studies of defect formation in CdTe, ZnS, ZnSe single crystals doped with impurities]. Vestnik Sibirskogo gosudarstvennogo aerokosmicheskogo universitetata imeni akademika M. F. Reshetneva, 2013, vol. 3 (49), pp. 209–211.

2. Loginov Yu., Braun Pol D., D'yurouz Ken. Zakonomernosti obrazovaniya strukturnykh defektov v poluprovodnikah A2B6 [Patterns of formation of structural defects in A2B6 semiconductors]. Moscow: Logos Publ., 2003, 304 p.

3. Loginov Yu. Yu., Mozzherin A. V., Paklin N. N. Modeling structural defect formation in cadmium telluride during electron irradiation. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2019, vol. 467, issue 1.

4. Paklin N. N., Loginov Yu. Yu., Mozzherin A. V. Ravnovesnoe raspredelenie defektov v telluride kadmiya do vozdeystviya vneshnikh faktorov [Equilibrium distribution of defects in cadmium telluride before the impact of external factors]. Sibirskiy aerokosmicheskij zhurnal, 2022, vol. 23, issue 2, pp. 315–320.

5. Mozzherin A. V., Paklin N. N. Teplostojkost' ustrojstv na osnove tellurida kadmiya pri pozharakh v usloviyakh peremennoy temperatury [Heat resistance of cadmium telluride devices in variable temperature fire]. Pozharnaya Bezopasnost', 2023, vol. 2 (111), pp. 42–48. <https://doi.org/10.37657/vniipo.pb.2023.111.2.003>

6. Unfaulting of dislocation loops in the GaInNAs alloy: An estimation of the stacking fault energy / M. Herrera, D. Gonzalez, J. G. Lozano [et al.]. Applied Physics Letters, 2005, vol. 98, 023521, pp. 1–7.

7. Glas Frank. A simple calculation of energy changes upon stacking fault formation or local crystalline phase transition in semiconductors. Journal of Applied Physics, 2008, vol. 104, 093520. pp. 1–6.

8. Fizika i khimiya soyedineniy A2B6 [Physics and chemistry of A2B6 compounds] / pod red. S. A. Medvedeva. Moscow, Mir Publ., 1970, 624 p.

Мозжерин Александр Владимирович

Сибирский федеральный университет,

Российская Федерация, г. Красноярск

кандидат физико-математических наук, доцент кафедры ЮНЕСКО «Новые материалы и технологии»

E-mail: Amozzherin@sfu-kras.ru

Mozzherin Aleksandr Vladimirovich

Siberian Federal University,

Russian Federation, Krasnoyarsk

Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor of the UNESCO Chair «New Materials and Technologies»

E-mail: Amozzherin@sfu-kras.ru

Паклин Николай Николаевич

Сибирский федеральный университет,

Российская Федерация, г. Красноярск

кандидат физико-математических наук, доцент, доцент кафедры теоретической физики и волновых явлений

E-mail: Npaklin@sfu-kras.ru

Paklin Nikolaj Nikolaevich

Siberian Federal University,

Russian Federation, Krasnoyarsk

Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Theoretical Physics and Wave Phenomena

E-mail: Npaklin@sfu-kras.ru.

УДК 614.841

ИССЛЕДОВАНИЕ СПОСОБНОСТИ К ВОСПЛАМЕНЕНИЮ И УСТОЙЧИВОМУ ГОРЕНИЮ МЯГКИХ ЭЛЕМЕНТОВ МЕБЕЛИ ОТ КАЛЬЯННЫХ УГЛЕЙ

Т. А. МОЧАЛОВА, О. Е. СТОРОНКИНА

Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,
Российская Федерация, г. Иваново
E-mail: tatianamochalova_2507@mail.ru, oleg1968@mail.ru

В настоящее время широко распространены кальянные комнаты. Необходимо отметить, что одним из факторов пожарной опасности при курении кальяна в кальянных комнатах является изобилие в интерьере изделий из текстиля. Пожар может произойти в результате воздействия маломощного источника зажигания – раскаленного угля для кальяна – на горючие текстильные материалы. Для установления очага пожара и определения его причины, а также для прогнозирования развития пожара необходимо понимать, как тот или иной вид ткани будет вести себя в условиях близких к условиям пожара.

В данной статье обсуждаются результаты экспериментального исследования способности к воспламенению и устойчивому горению отделочных текстильных материалов различного состава от кальянных углей в зависимости от условий газообмена. Показано, что наличие в составе ткани хлопка приводит к ее более быстрому прогоранию при контакте с кальянными углями, по сравнению с полностью синтетическими тканями; в условиях принудительной вентиляции зажигательная способность тлеющих кальянных углей возрастает; образцы отделочных текстильных материалов «Flok-soft», «Forest», «Enigma», при контакте с тлеющими кальянными углями марок «Carbopol» и «Cocos» плавятся, воспламенения и распространения пламени по поверхности не происходит.

Ключевые слова: текстильные материалы, кальянные угли, газообмен, распространение пламени, пожарно-техническая экспертиза.

RESEARCH OF THE ABILITY TO IGNITION AND STABLE COMBUSTION OF SOFT FURNITURE ELEMENTS FROM HOOKAH COALS

T. A. MOCHALOVA, O. E. STORONKINA

Federal State Budget Educational Establishment of Higher Education
«Ivanovo Fire Rescue Academy of State Firefighting Service of Ministry of Russian Federation
for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters»,
Russian Federation, Ivanovo
E-mail: tatianamochalova_2507@mail.ru, oleg1968@mail.ru

Currently, hookah rooms are widespread. It should be noted that one of the fire hazard factors when smoking hookah in hookah rooms is the abundance of textile products in the interior. A fire can occur as a result of the impact of a low-power source of ignition - hot hookah coal - on combustible textile materials. To establish the source of a fire and determine its cause, as well as to predict the development of a fire, it is necessary to understand how a particular type of tissue will behave in conditions close to those of a fire. This article discusses the results of an experimental study of the ability to ignite and stable combustion of finishing textile materials of various compositions from hookah coals, depending on the conditions of gas exchange. It is shown that the presence of cotton in the composition of the fabric leads to its faster burn-out upon contact with hookah coals, compared to fully synthetic fabrics; under conditions of forced ventilation, the incendiary ability of smoldering hookah coals increases; samples of finishing textile materials "Flok-soft", "Forest", "Enigma", upon contact with smoldering hookah coals of the brands "Carbopol" and "Cocos" melt, ignition and flame spread over the surface does not occur.

Key words: textile materials, hookah coals, gas exchange, flame propagation, fire and technical expertise.

Пожары в помещениях зданий и сооружений довольно часто начинаются с возгорания изделий из текстиля.

В настоящее время во многих культурно-развлекательных заведениях и предприятиях общественного питания широко представлено кальянное меню. Обилие в интерьере кальянных комнат разнообразного текстиля (обивка мягкой мебели, подушки, ковровые покрытия, занавески, шторы, балдахины и т.п.) является одним из факторов их пожарной опасности. Для курения кальянов применяются кальянные угли, представляющие собой специальные твердотопливные композиции, способные длительное время тлеть, выделяя большое количество тепла. Тлеющие кальянные угли, случайно попавшие на обитую тканью мебель, нагревают материалы, что может привести к началу их тления, с последующим переходом к возгоранию, и стать источником пожара.

Таким образом, в помещениях кальянных комнат существует высокая вероятность возникновения пожара, в случае непосредственного контакта тлеющего кальянного угля с горючими материалами [1].

Пожарную опасность текстильных материалов определяют несколько факторов, среди которых горючесть, огнестойкость, воспламеняемость, а также ряд показателей пожарной опасности. Результаты исследования температуры самовоспламенения тканей описаны в работе [2].

Однако, как показывает практика, температура самовоспламенения не в полной мере отражает поведение текстильных материалов в условиях пожара. Этот показатель характеризует лишь условие возникновения пожара, а его развитие будет зависеть от многих факторов, связанных с индивидуальными особенностями строения ткани: химический состав волокна, структура ткацкого переплетения, поверхностная плотность материала, наличие специальных видов обработок, влажность и др. [3].

Ранее нами были проведены исследования по оценке влияния поверхностной плотности синтетических обивочных мебельных тканей на скорость их прогорания при контакте с кальянными углями [4].

Целью данной работы является исследование способности к воспламенению и устойчивому горению отделочных текстильных материалов различного состава от кальянных углей в зависимости от условий газообмена.

Объектами исследования служили кальянные угли и обивочные мебельные ткани смешанного состава, содержащие как натуральные волокна (хлопок) совместно с синте-

тическими, так и только синтетические волокна.

При проведении исследования нами использовались два вида кальянных углей:

– быстрорагорающийся уголь марки «Carborol» в виде круглых таблеток диаметром 32 мм и высотой около 15 мм.

– древесный уголь марки «Cocos» в виде брусков кубической формы.

Нами были определены максимальные значения температур тления углей обоих видов вне кальяна. Максимальная температура тления угля марки «Carborol» составила 360 °С, а угля марки «Cocos» – 300 °С.

Методика проведения исследования способности к воспламенению и устойчивому горению отделочных текстильных материалов различного состава от кальянных углей в зависимости от условий газообмена заключалась в следующем. На первом этапе исследования определяли зажигательную способность кальянных углей в отсутствие принудительной вентиляции по методике, описанной авторами работы [1]. Для этого на металлический поддон укладывали образцы ткани, после чего на поверхность ткани помещали предварительно разожженный при помощи газовой горелки (в металлическом тигле) кальянный уголь. При помощи секундомера фиксировали время сквозного прогара образцов ткани при контакте с тлеющим углем. При помощи пирометра «Testo 845» фиксировали значения максимальной температуры в месте контакта поверхности тлеющего угля и горючего материала ($T_{тл}$). На втором этапе исследования оценивали зажигательную способность кальянных углей в условиях принудительной вентиляции. Для создания принудительного воздушного потока использовали вентилятор, скорость движения газовой среды в области воздействия тлеющих углей на ткани измеряли с помощью портативного акустического анемометра (АПА-1/3). Скорость потока составляла 5 м/с.

Все испытания проводились при температуре окружающей среды 20 ± 2 °С.

В качестве объектов исследования использовались образцы трех видов современной отделочной ткани (производство Китай), сложной структуры и состоящие из различных волокон:

1) «Flok-soft» – состав: 65 % полиэстер, 35 % хлопок; поверхностная плотность – 300 г/м²;

2) «Forest» – состав: 65 % полиэстер, 18 % акрил, 17 % нейлон; поверхностная плотность – 300 г/м²;

3) «Enigma» – состав: 100 % полиэстер; поверхностная плотность – 310 г/м².

Результаты исследований способности к воспламенению и устойчивому горению тка-

ней смешанного состава от контакта с кальянными углями представлены в табл.

Таблица. Результаты испытаний

№ п/п	Вид ткани	Марка угля	Без дополнительного воздухообмена в помещении			С дополнительным воздухообменом в помещении		
			Время прогорания ткани, с	$T_{\text{пл}}, ^\circ\text{C}$	Распространение пламени по поверхности	Время прогорания ткани, с	$T_{\text{пл}}, ^\circ\text{C}$	Распространение пламени по поверхности
1.	«Flok-soft»	«Carbopol»	10	420	нет	7	510	нет
		«Cocos»	25	390	нет	5	506	нет
2.	«Forest»	«Carbopol»	30	380	нет	5	522	нет
		«Cocos»	50	326	нет	9	502	нет
3.	«Enigma»	«Carbopol»	12	450	нет	8	516	нет
		«Cocos»	35	433	нет	12	501	нет

Как видно из табл., наличие в составе ткани хлопка (помимо 65 % полиэстера) приводит к ее более быстрому прогоранию при контакте с кальянными углями, по сравнению с полностью синтетическими тканями. Синтетические ткани на основе полиэстера считаются более огнестойкими, поскольку они противостоят возгоранию при значительно более высоких температурах, чем натуральные волокна [5, 6].

Также следует отметить, что кальянный уголь марки «Carbopol» изначально имеет более высокую температуру поверхности, поэтому с большей скоростью прожигает отделочные ткани, чем образец кальянного угля марки «Cocos».

Усиление газообмена ведет к снижению времени прогорания тканей. Температура

поверхности угля марки «Cocos» при усилении вентиляции возрастает более интенсивно, чем у угля марки «Carbopol», что, по-видимому, определяется различным химическим составом углей.

Как видно на представленных фотографиях (рис. 1 и 2) все исследованные образцы обивочной мебельной ткани при контакте с тлеющими кальянными углями обеих марок испытывают тепловые деформации и повреждения (плавятся). При этом воспламенения и распространения пламени по поверхности образцов не происходит. При осмотре образца, видно, что ткани в месте непосредственного контакта с тлеющим кальянным углем расплавились и затвердели, что характерно для полиэстерных волокон.

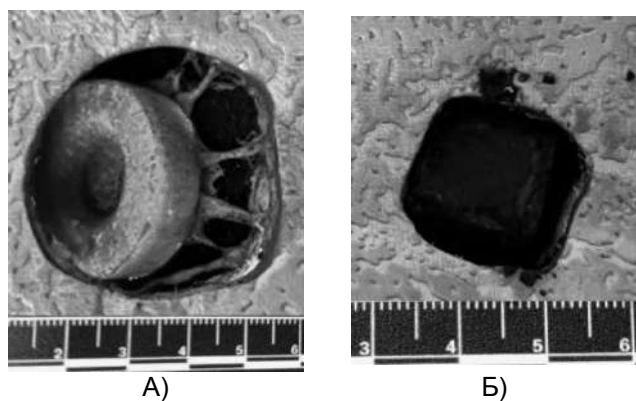


Рис. 1. Образец ткани «Flok-soft» в момент прогара при контакте с кальянными углями марок «Carbopol» (А) и «Cocos» (Б) при дополнительной вентиляции

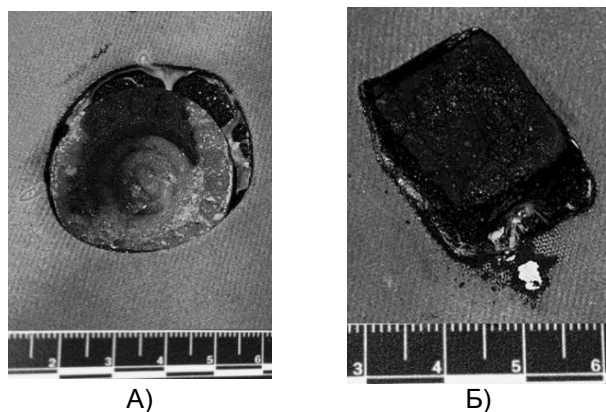


Рис. 2. Образец ткани «Enigma» в момент прогара при контакте с кальянными углями марок «Carbopol» (А) и «Cocos» (Б) при дополнительной вентиляции

Полученные экспериментальные данные согласуются с результатами испытаний тканей «Энигма», «Флок-софт» и «Форест» на воспламеняемость низкокалорийным источником зажигания – тлеющим табачным изделием (как при отсутствии принудительной вентиляции, так и при ее наличии) [2, 7].

Список литературы

1. Удилов Т. В., Кузнецов К. Л., Азовкина А. В. Исследование зажигательной способности кальянных углей // Вестник Восточно-Сибирского института Министерства внутренних дел России, 2013, Вып. 4 (67). С. 107–114.
2. Сторонкина О. Е., Мочалова Т. А. Оценка воспламеняемости современных текстильных материалов декоративного назначения // Современные проблемы гражданской защиты. 2022. № 3 (44). С. 67–71. EDN BUPEJF.
3. Разработка подходов к определению пожарной опасности текстильных материалов / Д. В. Сорокин, И. А. Роммель, А. Л. Никифоров [и др.] // Пожарная и аварийная безопасность. 2019. № 1(12). С. 80–89. EDN YZCPUV.
4. Кулик Е. В., Мочалова Т. А., Сторонкина О. Е. Воспламеняемость отделочных текстильных материалов от кальянных углей // Актуальные вопросы естествознания: сборник материалов VIII Всероссийской научно-практической конференции. Иваново: Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, 2023. С. 55–59. EDN UVNJOV.
5. Сторонкина О. Е., Мочалова Т. А., Калашников Д. В. Исследование показателей пожарной опасности текстильных материалов в целях судебной пожарно-технической экспертизы // Современные наукоемкие технологии. Региональное приложение. 2021. № 4 (68).

Полученные экспериментальные данные представляют ценную информацию для пожарно-технических специалистов при выявлении и фиксации локальных зон термических поражений и прогаров, указывающих на характер процессов, протекающих в исследуемых зонах, при расследовании пожаров в культурно-развлекательных заведениях, оборудованных кальянными комнатами.

С. 80–85. DOI 10.6060/snt.20216804.00012. EDN NZHRYB.

6. Сторонкина О. Е., Мочалова Т. А. Оценка пожароопасных показателей интерьерных тканей // Современные проблемы гражданской защиты. 2021. № 2 (39). С. 96–101. EDN CZERFR.

7. Сосина М. Е., Сторонкина О. Е., Мочалова Т. А. Исследование декоративных тканей на способность к возгоранию при воздействии источников зажигания малой мощности // Актуальные вопросы естествознания: сборник материалов VIII Всероссийской научно-практической конференции, Иваново: Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, 2023. С. 143–146. EDN CSEVTX.

References

1. Udilov T. V., Kuznetsov K. L., Azovkina A. V. Issledovaniye zazhigatel'noy sposobnosti kal'yannykh ugley [Study of the incendiary ability of hookah coals]. *Vestnik Vostochno-Sibirskogo instituta Ministerstva vnutrennikh del Rossii*, 2013, № 4 (67), pp. 107–114.
2. Storonkina O. Ye., Mochalova T. A. Otsenka vosplamenyayemosti sovremennykh tekstil'nykh materialov dekorativnogo naznacheniya [Estimation of the flammability of modern decorative textile materials]. *Sovremennyye problemy grazhdanskoy zashchity*, 2022, vol. 3 (44), pp. 67–71. EDN BUPEJF.

3. Razrabotka podkhodov k opredeleniyu pozharnoy opasnosti tekstil'nykh materialov [Development of approaches to determining the fire hazard of textile materials] / D. V. Sorokin, I. A. Rommel', A. L. Nikiforov [et al.] // *Pozharnaya i avariynaya bezopasnost'*, 2019, vol. 1 (12), pp. 80–89. EDN YZCPUV

4. Kulik Ye. V., Mochalova T. A., Storonkina O. Ye. Vosplamenyayemost' otdelochnykh tekstil'nykh materialov ot kal'yannykh ugley [Flammability of finishing textile materials from hookah coals]. *Aktual'nyye voprosy yestestvoznaniya: sbornik materialov VIII Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii*, Ivanovo: Ivanovskaya pozharno-spasatel'naya akademiya GPS MCHS Rossii, 2023, pp. 55–59. EDN UVNJOV.

5. Storonkina O. Ye., Mochalova T. A., Kalashnikov D. V. Issledovaniye pokazateley pozharnoy opasnosti tekstil'nykh materialov v tselyakh sudebnoy pozharno-tekhnicheskoy ekspertizy [Study of indicators of fire hazard of textile materials for the purpose of forensic fire-

technical examination]. *Sovremennyye naukoymkiye tekhnologii. Regional'noye prilozheniye*, 2021, vol. 4 (68), pp. 80–85. DOI: 10.6060/snt.20216804.00012. EDN NZHRYB.

6. Storonkina O. Ye., Mochalova T. A. Otsenka pozharoopasnykh pokazateley inter'yernykh tkaney [Evaluation of fire hazardous indicators of interior fabrics]. *Sovremennyye problemy grazhdanskoy zashchity*, 2021, vol. 2 (39), pp. 96–101. EDN CZERFR.

7. Sosina M. Ye., Storonkina O. Ye., Mochalova T. A. Issledovaniye dekorativnykh tkaney na sposobnost' k vozgoraniyu pri vozdeystvii istochnikov zazhiganiya maloy moshchnosti [Study of decorative fabrics on the ability to ignite when exposed to low-power ignition sources]. *Aktual'nyye voprosy yestestvoznaniya: sbornik materialov VIII Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii*. Ivanovo: Ivanovskaya pozharno-spasatel'naya akademiya GPS MCHS Rossii, 2023, pp. 143–146. EDN CSEVTX.

Мочалова Татьяна Александровна

Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,
Российская Федерация, г. Иваново
кандидат биологических наук, заместитель начальника кафедры
E-mail: tatianamochalova_2507@mail.ru

Mochalova Tat'yana Aleksandrovna

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

candidate of biological sciences, deputy head of department
E-mail: tatianamochalova_2507@mail.ru

Сторонкина Ольга Евгеньевна

Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,
Российская Федерация, г. Иваново
кандидат химических наук, доцент кафедры
E-mail: oleg1968@mail.ru

Storonkina Ol'ga Evgen'evna

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

candidate of chemical sciences, associate professor
E-mail: oleg1968@mail.ru

**ВОДОСНАБЖЕНИЕ, КАНАЛИЗАЦИЯ, СТРОИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ
ОХРАНЫ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ (ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ)
WATER SUPPLY, SEWERAGE, BUILDING SYSTEMS FOR THE PROTECTION
OF WATER RESOURCES (TECHNICAL SCIENCES)**

УДК 66.011:66.023

**ИОНООБМЕННАЯ ОЧИСТКА ВОДЫ ОТ ИОНОВ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ
НА СОРБЕНТЕ ИЗ РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ**

С. В. НАТАРЕЕВ^{1,2}, А. А. РЯБИКОВ¹, А. А. БЫКОВ³, С. А. СЫРБУ²

¹ ФГБОУ ВО Ивановский государственный химико-технологический университет,
Российская Федерация, г. Иваново

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

³ ООО «Эггер Древпродукт Шуя»,
Российская Федерация, г. Шуя
E-mail: natoret@mail.ru

Методом ИК-спектроскопии изучена химическая структура природного катионита на основе короткого льняного волокна и хитозана. В сорбенте обнаружены карбоксильные, фенольные гидроксильные группы и аминокгруппы, способные к ионному обмену с ионами тяжелых металлов из растворов. Приведены результаты исследования равновесия и кинетики процессов ионообменной сорбции ионов меди (II) и цинка из водных растворов на сорбенте. Установлено, что равновесие процессов ионного обмена удовлетворительно описывается уравнением изотермы адсорбции Ленгмюра. Полная статическая обменная емкость природного катионита по ионам меди (II) и цинка составляет 0,78 ммоль–экв/г. Скорость обмена ионов между твердой и жидкой фазами лимитируется внутренней диффузией. Значение коэффициента внутренней диффузии зависит от концентрации исходного раствора. Природный сорбент по своим кинетическим свойствам приближается к синтетическим органическим катионитам. Проведенные исследования показали перспективность применения полученного природного катионита в процессах водоочистки от ионов тяжелых металлов.

Ключевые слова: катионит, льняное волокно, хитозан, ионы тяжелых металлов.

**ION EXCHANGE WATER PURIFICATION FROM HEAVY METAL IONS
ON A SORBENT FROM VEGETABLE RAW MATERIALS**

S. V. NATAREEV^{1,2}, A. A. RYABIKOV¹, A. A. BYKOV³, S. A. SYRBU²

¹ Ivanovo State University of Chemistry and Technology,
Russian Federation, Ivanovo

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

³ EGGER Drevprodukt Shuya LLC,
Russian Federation, Shuya
E-mail: natoret@mail.ru

The chemical structure of natural cationite based on short flax fiber and chitosan has been studied by IR spectroscopy. Carboxyl, phenolic hydroxyl groups and amino groups were found in the sorbent. Functional groups capable of ion exchange with heavy metal ions from solutions. The results of the study of the equilibrium and kinetics of the ion exchange sorption of copper (II) and zinc ions from aqueous solutions on the sorbent are given. The equilibrium of ion exchange processes is satisfactorily described by the Langmuir adsorption isotherm equation. The total static exchange capacity of natural cationite for copper (II) and zinc (II) ions is 0.78 mmol–eq/g. The rate of ion exchange between the solid and liquid phases is limited by inter-

nal diffusion. The value of the internal diffusion coefficient depends on the concentration of the initial solution. Natural sorbent in its kinetic properties is close to synthetically organic cationites. The conducted studies have shown the prospects of using the obtained natural cationite in the processes of water purification from heavy metal ions.

Key words: cationite, flax fiber, chitosan, heavy metal ions.

При ликвидации чрезвычайных ситуаций проводятся неотложные работы по обеспечению населения и аварийно-спасательных служб технической и питьевой водой. Основным источником подачи воды для населения, промышленных предприятий и других потребителей является централизованное водоснабжение. В чрезвычайных ситуациях причинами аварий могут быть выход из строя водозаборных сооружений, неисправность оборудования станций очистки воды, повреждения водопроводных сетей и других элементов систем водоснабжения [1, 2]. Усилия специализированных аварийно-спасательных служб направлены обычно на восстановления систем централизованного водоснабжения. При серьезных авариях, когда невозможно в короткие сроки ликвидировать их последствия, целесообразно обеспечение населения бутилированной и пакетированной питьевой водой [3]. Для подвоза воды могут быть использованы пожарные цистерны, поливочные машины, молоковозы и т.п. [4]. Рекомендуемые нормы обеспечения населения питьевой водой определены рекомендациями¹ и составляют для взрослого населения 2,5 л/чел. в сутки, для детей от 1 года до 14 лет — 5 л/чел. в сутки, для медицинских организаций — 50 л/чел. в сутки и др. В качестве временной меры, применяемой для обеспечения потребителей чистой водой, является использование мобильных (модульных) комплексов водоподготовки, с помощью которых осуществляются механическая, химическая, сорбционная и другая очистка загрязненной воды [5, 6]. Одним из эффективных методов очистки воды от ионов тяжелых металлов является метод ионного обмена [7]. В качестве ионообменных материалов для очистки воды используются, как правило, органические синтетические иониты, которые имеют достаточно высокую стоимость. Экономически выгодно и экологически целесообразно использовать для получения сорбентов отходы сельскохозяй-

ственного производства [8, 9] и деревообрабатывающей промышленности [10, 11]. Определение структуры и сорбционных свойств сорбентов является важным этапом на пути к их практическому применению.

В качестве сорбента был выбран гранулированный катионит в Na-форме на основе короткого льняного волокна и хитозана [12]. Сначала исходное льняное волокно измельчали, а затем подвергали обработке в 2 %-ном растворе соляной кислоты с последующими промыванием дистиллированной водой до pH 5 и отжимом до влажности 50 %. Далее полученную массу обрабатывали раствором хитозана в уксусной кислоте, который используется в качестве связующего. Затем массу обрабатывали 25 % раствором глутарового альдегида и 13 % раствором аминоксусной кислоты. Мольное соотношение «льняное волокно: хитозан: глутаровый альдегид: аминоксусная кислота» составляло 1:0,4:0,3:0,1. Из полученной массы формовали гранулы со средним диаметром 2 мм, которые затем сушили до влажности 4 %.

С целью изучения химической структуры сорбента были сняты инфракрасные спектры сорбента на ИК-Фурье спектрометра Avatar 360 FT-IR ESP. ИК-область спектра охватывает диапазон от 4000 до 400 см⁻¹ (рис. 1). Для проведения исследований сорбент был смешан с KBr и спрессован в таблетку.

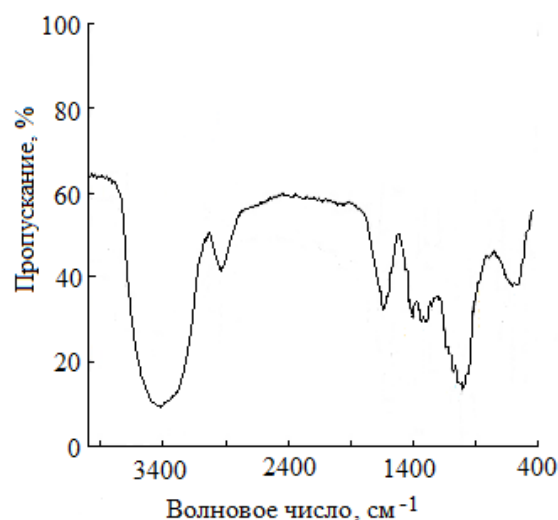


Рис. 1. ИК-спектры химически обработанного сорбента

¹ Методические рекомендации по организации первоочередного жизнеобеспечения населения в чрезвычайных ситуациях и работы пунктов временного размещения пострадавшего населения (утв. МЧС России 20.08.2020 № 2-4-71-18-11). 2020. Режим доступа: https://sudact.ru/law/metodicheskie-rekomendatsii-po-organizatsii-pervoocherednogo-zhizneobespecheniia-naseleniia_1/.pdf.

Полосы поглощения в интервале 3380–3300 см^{-1} соответствует О-Н валентным колебаниям гидроксильных групп. Поглощение при 2900 см^{-1} свидетельствует о присутствии колебаний СН-связей. Валентное колебание карбонильных групп С=О, входящее в состав карбоксильных групп, проявляется в виде полосы 1709 см^{-1} . Полосы при 1600–1510 см^{-1} однозначно относятся к скелетным колебаниям ароматического кольца. Поглощение в области 1210–830 см^{-1} обусловлено деформационными колебаниями связей С-С и С-О. Таким образом, в результате химической обработки льняного волокна в его структуре появляются сорбционно-активные группы, способные к ионному обмену.

Исследование равновесия процесса ионного обмена проводили в статических условиях [13]. Проведение опытов заключалось в следующем. В конические колбы заливали по 100 мл водного раствора сульфата металла и затем в них добавляли навески сорбента по 1 г. Затем колбы помещали в водяной термостат и выдерживали их до достижения

состояния равновесия при температуре 293 °К. Интервал начальных концентраций раствора составлял 0,01–0,12 моль-экв/л. После установления равновесия в системе раствор отделяли от частиц сорбента фильтрованием. В фильтрате определяли равновесную концентрацию ионов металла фотоколориметрическим методом [14]. Равновесное значение ионообменной адсорбции рассчитывали по формуле:

$$\bar{C}_p = \frac{(C_0 - C_p)V}{m} 1000, \quad (1)$$

где m – масса навески сорбента, г; C_0 – исходная концентрации раствора, моль-экв/л; C_p – равновесная концентрации раствора, моль-экв/л; \bar{C}_p – равновесная обменная емкость сорбента, ммоль-экв/г; V – объем раствора, л.

Результаты исследования равновесия ионного обмена показаны на рис. 2.

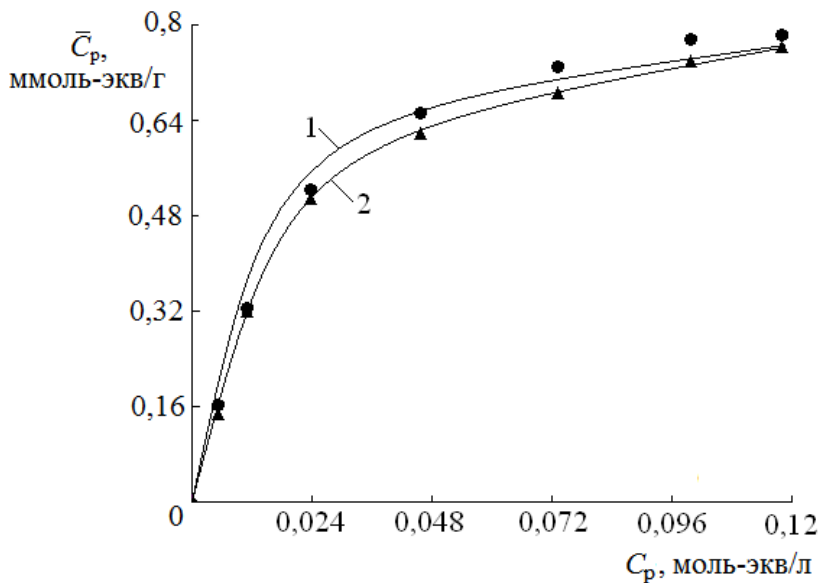


Рис. 2. Изотермы ионообменной сорбции ионов Cu^{2+} (1) и Zn^{2+} (2) катионитом

Для описания экспериментальной изотермы ионообменной сорбции ионов меди (II) и цинка сорбентом использовали модель сорбции Ленгмюра:

$$\bar{C}_p = a_0 \frac{kC_p}{1+kC_p}, \quad (2)$$

где a_0 – обменная емкость катионита, ммоль-экв/г; k – константа адсорбционного равновесия, л/моль-экв.

Обработка равновесных экспериментальных данных методом наименьших квадра-

тов в координатах $[1/\bar{C}_p; 1/b\bar{C}_p]$ позволила определить величины a_0 и k . Для обмена $\text{Cu}^{2+} - \text{Na}^+$ значения $a_0=0,79$ ммоль-экв/г и $k=70$ л/моль-экв, а для обмена $\text{Zn}^{2+} - \text{Na}^+$ значения $a_0=0,77$ ммоль-экв/г и $k=55$ л/моль-экв. Коэффициент корреляции составил 0,98.

Сравнивая сорбционные свойства природного катионита и синтетических сильноокислотных катионитов [15], можно констатировать, что полная статическая обменная емкость последних в 3–4 раза больше природного. Однако невысокая стоимость и доступность исходного сырья могут быть теми факторами, которые окажут существенное влияние на выбор

природного сорбента для очистки воды взамен синтетического.

Для исследования кинетики сорбции ионов тяжелых металлов использовали метод ограниченного объема раствора [13].

Проведение опытов заключалось в следующем. В конические колбы заливали по 100 мл водного раствора сульфата металла и затем в них добавляли навески сорбента по 1 г. Затем суспензию сорбент-раствор перемешивали с помощью мешалки. Частота вращения мешалки составляла 5 с^{-1} . Через определенные промежутки времени раствор отделили от частиц адсорбента фильтрованием. В фильтрате определяли текущую концентрацию ионов металла фотоколориметрическим методом [14].

Исследования проводили с растворами сульфата меди (II) и цинка концентраций 0,1, 0,05 и 0,1 моль-экв/л. По полученным данным

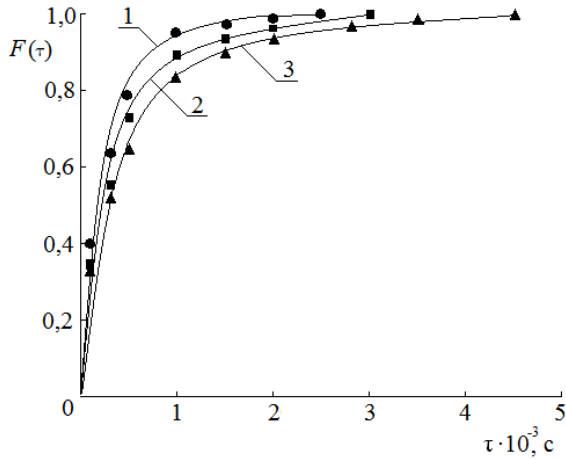


Рис. 3. Кинетические кривые ионообменной сорбции процесса $\text{Cu}^{2+} - \text{Na}^+$ на катионите из льняного волокна: C_0 , моль-экв/л: 1 – 0,1; 2 – 0,05; 3 – 0,005

рассчитывали степень достижения равновесия:

$$F(\tau) = \frac{\bar{C}(\tau)}{a_0}. \quad (3)$$

Результаты экспериментальных исследований изображали на графике в виде кинетических кривых ионного обмена $\text{Cu}^{2+} - \text{Na}^+$ и $\text{Zn}^{2+} - \text{Na}^+$ на природном катионите (рис. 3 и 4).

При изучении кинетики ионного обмена $\text{Cu}^{2+} - \text{Na}^+$ и $\text{Zn}^{2+} - \text{Na}^+$ на природном катионите установлено, что концентрация исходного раствора оказывает существенное влияние на скорость процесса. Увеличение концентрации сульфата металла в растворе приводит к возрастанию скорости процесса. При использовании растворов CuSO_4 равновесие в ионообменной системе устанавливается быстрее, чем при обмене из раствора ZnSO_4 .

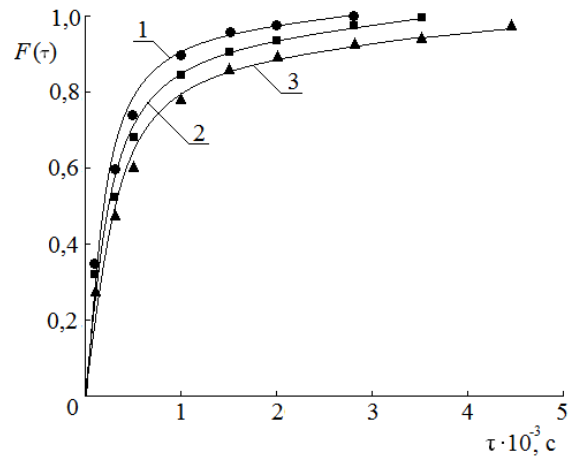


Рис. 4. Кинетические кривые ионообменной сорбции процесса $\text{Zn}^{2+} - \text{Na}^+$ на катионите из льняного волокна: C_0 , моль-экв/л: 1 – 0,1; 2 – 0,05; 3 – 0,01

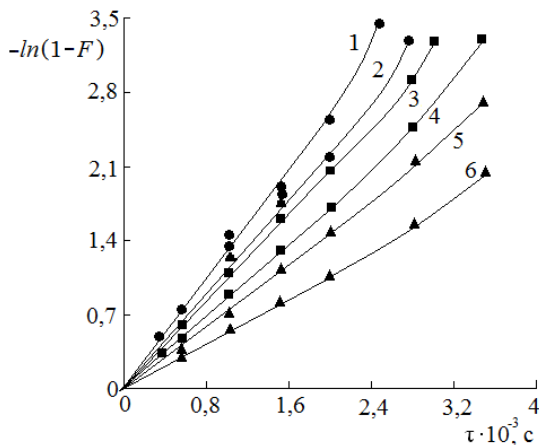


Рис. 5. Зависимость $-\ln(1-F)$ от времени сорбции ионов меди (II) (1, 3, 5) и цинка (2, 4, 6) природным катионитом: C_0 , моль-экв/л: 1, 2 – 0,1; 3, 4 – 0,05; 5, 6 – 0,01

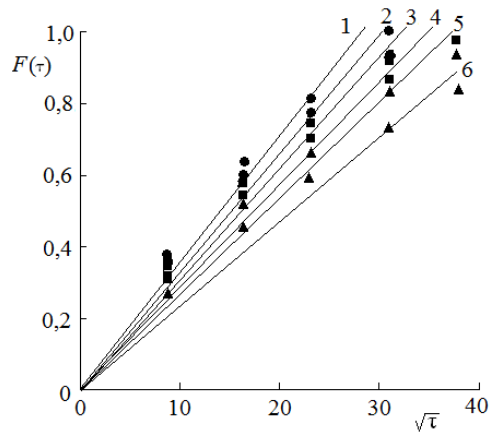


Рис. 6. Зависимость F от $\sqrt{\tau}$ сорбции ионов меди (II) (1, 3, 5) и цинка (2, 4, 6) природным катионитом: C_0 , моль-экв/л: 1, 2 – 0,1; 3, 4 – 0,05; 5, 6 – 0,01

Для уточнения кинетического механизма ионного обмена, полученные экспериментальные кинетические кривые были обработаны в координатах $-\ln(1-F) - \tau$ и $F - \sqrt{\tau}$ (рис. 5 и 6).

Нелинейный характер зависимости $-\ln(1-F) - \tau$ позволяет сделать вывод, что скорость ионного обмена определяется внутридиффузионным сопротивлением. Линейная зависимость F от $\sqrt{\tau}$ (рис. 6) также подтверждает этот факт. Полученные результаты позволяют выбрать для обработки кинетических кривых уравнение Бойда [16]:

$$F = 1 - \frac{6}{\pi^2} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n^2} \exp\left(-\frac{\pi^2 n^2 \bar{D} \tau}{R^2}\right), \quad (4)$$

где \bar{D} - коэффициент внутренней диффузии, $\text{м}^2/\text{с}$; R - радиус частицы сорбента, м ; n - натуральные числа от 1 до бесконечности;

Введем обозначение $\pi^2 \bar{D} \tau / R^2 = B$. Затем из таблицы зависимости F от $B\tau$ [16] найдем значение B для соответствующих F и τ . Затем вычислим коэффициент диффузии \bar{D} из выражения:

$$\bar{D} = \frac{BR^2}{\pi^2}, \quad (5)$$

Список литературы

1. Иванова Т. П., Полуянов В. П., Юрьев А. М. Аварийно-спасательные и другие неотложные работы на системах водоснабжения // Вестник БГТУ им. В. Г. Шухова. 2008. № 3. С. 98–109.
2. Пеньков А. И., Тихомирова Е. А., Полевой А. А. Аварийно-спасательные работы на сетях водопровода и канализации городской инфраструктуры // Экология и безопасность в техносфере: современные проблемы и пути решения: сборник трудов Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых, аспирантов и студентов. Томск: Изд-во ТПУ, 2015. Т. 2. С. 186–192.
3. Шевцов М. Н., Шкамардина Е. А. Чрезвычайные ситуации на системах водоснабжения // Вестник науки и образования. 2020. № 1 (79). Часть 1. С. 9–15.
4. Подолько П. М. Снабжение населения питьевой водой в условиях чрезвычайных ситуаций // Технологии техносферной безопасности. 2017. № 1. Вып. 71. С. 1–8.
5. Володин А. С., Симаккина С. А., Фесенко В. В. Обеззараживание индивидуальных запасов питьевой воды в условиях чрезвычай-

Найденные коэффициенты внутренней диффузии для различных концентраций компонентов имеют следующие значения: для обмена $\text{Cu}^{2+} - \text{Na}^+$ $\bar{D} = 2,1 \cdot 10^{-10} \text{ м}^2/\text{с}$ (при концентрации раствора 0,1 (моль-экв/л), $1,7 \cdot 10^{-10} \text{ м}^2/\text{с}$ (0,05 моль-экв/л), $1,2 \cdot 10^{-10} \text{ м}^2/\text{с}$ (0,01 моль-экв/л); для обмена $\text{Cu}^{2+} - \text{Na}^+$ $1,8 \cdot 10^{-10} \text{ м}^2/\text{с}$ (0,1 моль-экв/л), $1,4 \cdot 10^{-10} \text{ м}^2/\text{с}$ (0,05 моль-экв/л), $8,6 \cdot 10^{-11} \text{ м}^2/\text{с}$ (0,01 моль-экв/л). Из приведенных данных видно, что коэффициент внутренней диффузии повышается с возрастанием концентрации ионов в растворе.

По данным [16] значение коэффициентов внутренней диффузии сорбируемых тяжелых металлов для синтетических органических катионитов находится в пределах $10^{-10} - 10^{-11} \text{ м}^2/\text{с}$. На основании проведенных исследований можно сделать вывод о том, что катионит, полученный из модифицированного льняного волокна и хитозана, по своим кинетическим свойствам приближается к синтетическим катионитам. Высокая скорость процесса ионообменной сорбции на природном катионите обусловлена его хорошей набухаемостью и значительной пористостью.

Таким образом, проведенные исследования показали перспективность применения полученного природного катионита в процессах водоочистки от ионов тяжелых металлов.

ных ситуаций // Экология человека. 2003. № 5. С. 3–9.

6. Гупалюк В. Ф., Баронин А. В., Работкина О. Е. Средства очистки воды в зонах чрезвычайных ситуаций техногенного и природного характера // Современные технологии обеспечения гражданской обороны и ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций. 2015. № 1–2 (6). С. 191–196.
7. Рябчиков Б. Е. Современные методы подготовки воды для промышленного и бытового использования. М.: ДеЛи принт, 2004. 328 с.
8. Lakshmi pathy R., Sarada N. C., Jayaprakash N. Agricultural wastes as low cost adsorbents for sequestration of heavy metal ions and synthetic dyes from aqueous solution: A mini review. International Journal of ChemTech Research, 2015, vol. 8, issue 5, pp. 25–31.
9. Acharya J., Kumar U., Mahammed P. R. Removal of heavy metal ions from wastewater by chemically modified agricultural waste material as potential adsorbent: a review. International Journal of Current Engineering and Technology, 2018, vol. 8, issue 3, pp. 526–530.
10. Sahmoune M. N., Yeddou A. R. Potential of sawdust materials for the removal of

dyes and heavy metals: examination of isotherms and kinetics. *Desalination and Water Treatment*, 2016, vol. 57, issue 50, pp. 1–16.

11. Meez E., Rahdar A., Kyzas G. Z. Sawdust for the Removal of Heavy Metals from Water: A Review. *Molecules*, 2021, vol. 26, issue 14, pp. 4318–4328.

12. Патент 2657506 Российская Федерация МПК C02F 1/28 B01J 20/24 B01J 20/22 B01J 20/30. Способ извлечения ионов тяжелых металлов из водных растворов / С. В. Натарева, В. А. Козлов, Т. Е. Никифорова [и др.]; опублик. 25.09.18. Бюл. № 17.

13. Практикум по ионному обмену: учебное пособие / В. Ф. Селеменов, Г. В. Славинская, В. Ю. Хохлов [и др.]. Воронеж: Изд-во ВГУ, 2004. 160 с.

14. Васильев В. П. Аналитическая химия. Книга 2: Физико-химические методы анализа. М.: Дрофа, 2003. 384 с.

15. Авфукова Л. С., Белова Т. П. Сорбционное извлечение ионов цветных металлов из многокомпонентных растворов катионитом КУ-2-8 и его зарубежными аналогами // Успехи современного естествознания. 2021. № 6. С. 42–48

16. Аширов А. Ионнообменная очистка сточных вод, растворов и газов. Л.: Химия, 1983. 295 с.

References

1. Ivanova T. P., Poluyanov V. P., Yuryev A. M. Avariyno-spasatel'nyye i drugie neotlozhnyye raboty na sistemakh vodosnabzheniya [Emergency rescue and other urgent work on water supply systems]. *Vestnik BGTU im. V. G. Shukhova*, 2008, issue 3, pp. 98–109.

2. Penkov A. I., Tikhomirova E. A. Polevoy A. A. Avariyno-spasatel'nyye raboty na setyakh vodoprovoda i kanalizatsii gorodskoy infrastruktury [Emergency rescue work on water supply and sewerage networks of urban infrastructure]. *Ekologiya i bezopasnost' v tekhnosfere: sovremennyye problemy i puti resheniya: sbornik trudov Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii molodykh uchennykh, aspirantov i studentov*. Tomsk: Izd-vo TPU, 2015, vol. 2, pp. 186–192.

3. Shevtsov M. N., Shkamardina E. A. Chrezvychaynyye situatsii na sistemakh vodosnabzheniya [Emergency situations on water supply systems] *Vestnik nauki i obrazovaniya*, 2020, vol. 1 (79), issue 1, pp. 9–15.

4. Podolko P. M. Snabzheniye naseleniya pit'yevoy vodoy v usloviyakh chrezvychaynykh situatsiy [Supply of drinking water to the population in emergency situations]. *Tekhnologii*

tekhnosfernoy bezopasnosti, 2017, issue 1, vol. 71, pp. 1–8.

5. Volodin A. S., Simakina S. A., Fesenko V. V. Obezrazhivaniye individual'nykh zapasov pit'yevoy vody v usloviyakh chrezvychaynykh situatsiy [Disinfection of individual drinking water supplies in emergency situations]. *Ekologiya cheloveka*, 2003, issue 5, pp. 3–9.

6. Gupalyuk V. F., Baronin A. V., Rabotkina O. E. Sredstva oчитki vody v zonakh chrezvychaynykh situatsiy tekhnogennoy i prirodnogo kharaktera [Means of water purification in zones of man-made and natural emergencies]. *Sovremennyye tekhnologii obespecheniya grazhdanskoй oborony i likvidatsii posledstviy chrezvychaynykh situatsiy*, 2015, issue 1-2 (6), pp. 191–196.

7. Ryabchikov B. E. *Sovremennyye metody podgotovki vody dlya promyshlennogo i bytovogo ispol'zovaniya* [Modern methods of water treatment for industrial and domestic use]. M.: Delhi Print, 2004, 328 p.

8. Lakshmipathy R., Sarada N. C., Jayaprakash N. Agricultural wastes as low cost adsorbents for sequestration of heavy metal ions and synthetic dyes from aqueous solution: A mini review. *International Journal of ChemTech Research*. 2015, vol. 8, issue 5, pp. 25-31.

9. Acharya J., Kumar U., Mahammed P. R. Removal of heavy metal ions from wastewater by chemically modified agricultural waste material as potential adsorbent: a review. *International Journal of Current Engineering and Technology*, 2018, vol. 8, issue 3, pp. 526–530.

10. Sahmoune M. N., Yeddou A. R. Potential of sawdust materials for the removal of dyes and heavy metals: examination of isotherms and kinetics. *Desalination and Water Treatment*, 2016, vol. 57, issue 50, pp. 1–16.

11. Meez E., Rahdar A., Kyzas G. Z. Sawdust for the Removal of Heavy Metals from Water: A Review. *Molecules*, 2021, vol. 26, issue 14, pp. 4318–4328.

12. S. V. Natareev, V. A. Kozlov, T. E. Nikiforova [et al.]. Sposob izvlecheniya ionov tyazhelykh metallov iz vodnykh rastvorov [Method of extracting heavy metal ions from aqueous solutions], Patent 2657506 Rossiyskaya Federatsiya IPC C02F 1/28 B01J 20/24 B01J 20/22 B01J 20/30, opubl. 14.06.2018, Byul. № 17.

13. *Praktikum po ionnomu obmenu: Uchebnoye posobiye* [Workshop on ion exchange: Textbook]. V. F. Selemenev, G. V. Slavinskaya, V. Yu. Khokhlov [et al.]. Voronezh: Izd-vo VGU, 2004, 160 p.

14. Vasiliev V. P. *Analiticheskaya khimiya. Kniga 2: Fiziko-khimicheskiye metody analiza* [Analytical chemistry. Book 2: Physico-chemical

methods of analysis]. Moscow: Drofa, 2003, 384 p.

15. Avfukova L. S., Belova T. P. Sorbtionnoye izvlecheniye ionov tsvetnykh metallov iz mnogokomponentnykh rastvorov kationitom KU-2-8 i yego zarubezhnymi analogami [Sorption of non-ferrous metals ions recovery from multicomponent solutions by KU-2-8 cation ex-

changer and its foreign analogues]. *Uspekhi sovremennogo yestestvoznaniya*, 2021, issue 6, pp. 42–48.

16. Ashirov A. *Ionoobmennaya ochistka stochnykh vod, rastvorov i gazov* [Ion exchange purification of wastewater, solution and gases]. L.: Khimiya, 1983, 295 p.

Натареев Сергей Валентинович

ФГБОУ ВО «Ивановский государственный химико-технологический университет»,
Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,
Российская Федерация, г. Иваново
доктор технических наук, профессор
E-mail: natoret@mail.ru

Natareev Sergej Valentinovich

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

Рябиков Алексей Александрович

ФГБОУ ВО «Ивановский государственный химико-технологический университет»,
Россия, г. Иваново
студент
E-mail: pluck612@gmail.com
Ryabikov Alexey Alexandrovich
Ivanovo State University of Chemistry and Technology,
Russia, Ivanovo
student
E-mail: pluck612@gmail.com

Быков Александр Андреевич

ООО «Эггер Древпродукт Шуя»,
Российская Федерация, г. Шуя
технолог
E-mail: bykovalexandr1991@mail.ru

Bykov Alexander Andreevich

EGGER Drevprodukt Shuya LLC,
Russian Federation, Shuya
technologist
E-mail: bykovalexandr1991@mail.ru

Сырбу Светлана Александровна

Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,
Российская Федерация, г. Иваново
доктор химических наук, профессор, заведующий кафедрой
E-mail: syrbye@yandex.ru.

Syrbu Svetlana Alexandrovna

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

УДК 614.839+67.05

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ ЧАСТОТЫ РЕАЛИЗАЦИИ ПОЖАРООПАСНЫХ СИТУАЦИЙ НА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМ ОБОРУДОВАНИИ С ПОЖАРОВЗРЫВООПАСНЫМИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ СРЕДАМИ

А. Х. САЛИХОВА, Е. А. ШВАРЕВ, Д. Б. САМОЙЛОВ, А. А. ЛАЗАРЕВ

Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,
Российская Федерация, г. Иваново
E-mail: salina_77@mail.ru

В статье представлено продолжение исследования проблемных вопросов в формировании информации о пожарах на промышленных предприятиях, которая требуется для оценки пожарного риска. Основным элементом научной новизны работы является унификация подходов в практиках государственного надзора в области пожарной и промышленной безопасности путем создания единого информационного обеспечения данных надзоров в части предупреждения пожаров на промышленных предприятиях. Практическая значимость исследования заключается в разработке рекомендаций по определению показателя частоты реализации пожароопасных ситуаций. Уточнение и конкретизация данных о количестве аварийных ситуаций на различном технологическом оборудовании будет способствовать повышению точности расчета пожарного риска на производственных объектах.

Авторами приведен анализ подходов к определению частоты реализации пожароопасной аварийной ситуации на производстве. Этот важный показатель позволяет оценить уровень безопасности. Рассмотрение в статье случайных событий с точки зрения математической статистики подразумевает введение количественной оценки данных событий. Реализация вероятностного подхода при проведении исследования обусловлена возможностью наступления одних событий в большей степени по сравнению с другими. Получение достоверной информации о частотах указанных событий возможно при систематизации информации, унификации подходов к её обобщению и кодификации инструкций и рекомендаций по осуществлению наблюдения. Увеличение количества наблюдений позволит получить статистическую устойчивость частоты реализации пожароопасной аварийной ситуации. Авторами с учетом свойств данного параметра даны рекомендации по ведению статистического наблюдения за реализацией пожароопасной аварийной ситуации на производстве. Уточнено определение пожароопасной ситуации.

Ключевые слова: производственный объект, авария, технологическое оборудование, пожар, взрыв, пожароопасная ситуация, частота пожароопасной ситуации, расчет пожарного риска.

RECOMMENDATIONS FOR DETERMINING THE FREQUENCY OF FIRE HAZARDOUS SITUATIONS ON TECHNOLOGICAL EQUIPMENT WITH FIRE AND EXPLOSION HAZARDOUS TECHNOLOGICAL ENVIRONMENTS

A. H. SALIKHOVA, E. A. SHVAREV, D. B. SAMOILOV, A. A. LAZAREV

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

The article presents a continuation of the study of problematic issues in the formation of information about fires at industrial enterprises, which is required for assessing fire risk. The main element of the scientific novelty of the work is the unification of approaches in the practices of state supervision in the field of fire and industrial safety by creating a unified information support for these supervisions in terms of preventing fires at industrial enterprises. The practical significance of the study lies in the development of recommendations for determining the indicator of the frequency of fire hazardous situations. Clarification and concretization of data on the number of emergencies on various technological equipment will help improve the accuracy of fire risk calculation at production facilities.

The authors provide an analysis of approaches to determining the frequency of implementation of a fire hazardous emergency in production. This important indicator allows you to assess the level of security. The mathematical study of the random events considered in the article implies the introduction of a quantitative assessment of these events. The implementation of the probabilistic approach in the study is due to the possibility of the onset of some events to a greater extent than others. Obtaining reliable information about the frequencies of these events is possible with the systematization of information, the unification of approaches to its generalization and the codification of instructions and recommendations for monitoring. An increase in the number of observations will make it possible to obtain the statistical stability of the frequency of a fire hazardous emergency. Taking into account the properties of this parameter, the authors give recommendations on conducting statistical monitoring of the implementation of a fire hazardous emergency in production. The definition of a fire hazard situation has been clarified.

Key words: production facility, accident, process equipment, fire, explosion, fire situation, frequency of fire situation, fire risk calculation.

Частота реализации события – это показатель, который характеризует вероятность возникновения определенного события за определенный период времени. Этот показатель может быть использован в различных областях, таких как экономика, финансы, медицина, наука и техника.

В сфере пожарной безопасности этот показатель используется для расчета потенциального пожарного риска на территории производственного объекта и в селитебной зоне вблизи объекта и в производственном здании. От значения потенциального пожарного риска будет зависеть и расчетный показатель индивидуального пожарного риска, кото-

рый путем сравнения с нормативной величиной будет определять соответствие объекта требованиям пожарной безопасности согласно статье 6 «Условия соответствия объекта защиты требованиям пожарной безопасности»¹. Таким образом, от точности определения частоты реализации пожароопасных ситуаций (далее – ЧРПС) зависит расчетное значение индивидуального пожарного риска на производственных объектах.²

Статьей 94¹ определена последовательность действий определения пожарного риска для производственного объекта, которая приведена на рис. 1.

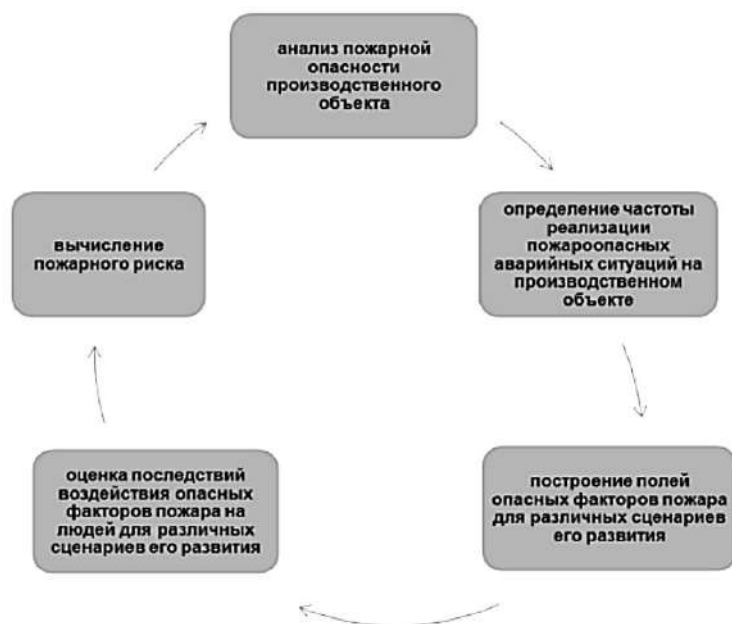


Рис. 1. Последовательность оценки пожарного риска

¹ Федеральный закон от 22.07.2008 № 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности»

² В работе мы рассматриваем возможность определения ЧРПС применительно к расчету пожарного риска для производственных объектов.

С целью установления ЧРПС (статья 96¹) необходимы сведения об отказах типового технологического оборудования, о надежности его работы, о нарушениях эксплуатации оборудования персоналом, о гидрометеорологических и географических особенностях местности.

Пожароопасная ситуация на технологическом оборудовании возникает в результате аварии, вследствие которой при определенных условиях может возникнуть пожар. И все, что приведено в статье 96 это и есть факторы, приводящие к аварии. Говоря о ЧРПС, в первую очередь надо понимать, что рассматривается под пожароопасной ситуацией в Приказе МЧС РФ (далее – Методика)³. В действующих нормативных документах в области пожарной безопасности отсутствует определение данного понятия. О возможности взрыва, как одного из вероятных последствий аварии, в термине «пожароопасная ситуация» можно судить только по содержанию п. 8 и правилам построения логического дерева событий, приведенных в Методике³. В СП 12.13130.2009⁴, в котором описаны методы оценки опасных факторов пожара, использующиеся и в Методике³, даны определения только таким терминам, как «аварийная ситуация» и «проектная авария».

Проанализировав существующие источники об оценке опасности аварийных ситуаций на технологическом оборудовании, нами рекомендуется ввести определение пожароопасной ситуации в следующей формулировке: «Пожароопасная ситуация – это аварийная ситуация на технологическом оборудовании и в здании производственного объекта, при реализации которой возникает опасность для людей получить травму или погибнуть в результате поражения опасными факторами пожара, взрыва и сопутствующими проявлениями опасных факторов пожара».

По правилам математической статистики для расчета частоты реализации события (в нашем случае это или пожароопасная ситуация, или авария на технологическом оборудовании) необходимо иметь статистические данные о количестве возникновения событий за определенный период времени. Например, если мы хотим рассчитать частоту реализации события «авария на технологическом оборудовании», то необходимо знать количество аварий, произошедших за определенный пе-

риод времени. Для расчета частоты реализации события используется следующая формула:

$$Ch_i = \frac{n_i}{n}, \quad (1)$$

где Ch_i – частота реализации события i ; n_i – количество возникновения события i ; n – общее количество наблюдений [1].

Например, если за год было зарегистрировано 10 аварий на производстве, а общее количество дней в году составляет 365, то частота реализации события будет равна: «Частота реализации события «авария на технологическом оборудовании» = $10 / 365 = 0,027$. Таким образом, вероятность возникновения аварии на производстве за один день составляет 0,027.

Первый проблемный вопрос заключается как раз в том, как определять ЧРПС для расчета риска по Методике³, так как формул и алгоритма в указанной Методике не приводится. В Методике³ рекомендуется для определения ЧРПС использовать статистические данные по аварийности или расчетные данные по надежности технологического оборудования, соответствующие специфике рассматриваемого объекта. Информация о ЧРПС (в том числе возникших в результате ошибок работника), необходимая для оценки риска, может быть получена непосредственно из данных о функционировании исследуемого объекта или из данных о функционировании других подобных объектов. Так же можно использовать справочные данные, которые приведены в Приложении 1 и Приложении 6 Методики³.

Тогда возникает второй проблемный вопрос о достоверности проводимых расчетов пожарного риска при использовании показателей Приложения 1 и Приложения 6 Методики³, которые были определены в 2009 г. или ранее. Насколько эти данные отражают реальную ситуацию в современный период? Проведем сравнительный анализ статистических данных о пожарах на производственных объектах за периоды времени 2007-2009 гг. и за 2018-2022 гг., представленный на рис. 2.

Количество пожаров в зданиях производственного назначения в 2022 г. по сравнению с 2007–2009 гг. значительно уменьшилось.

На диаграмме рис. 3 сведены показатели обстановки с пожарами на производственных объектах за периоды времени 2007-2009 гг. и за 2018-2022 гг. по причинам их возникновения.

³ Приказ МЧС РФ от 10 июля 2009 г. № 404 «Об утверждении методики определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах»

⁴ Свод правил СП 12.13130.2009 «Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности»

Количество пожаров, ед.

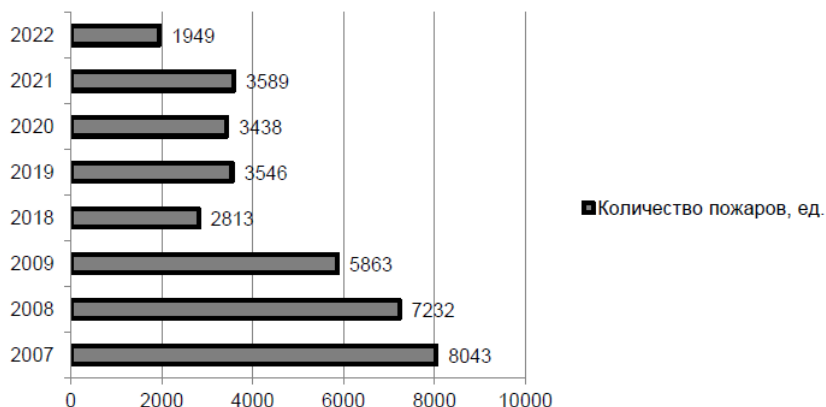


Рис. 2. Распределение основных показателей обстановки с пожарами в зданиях производственного назначения за 2007-2009 гг. [2] и за 2018-2022 гг. [3]

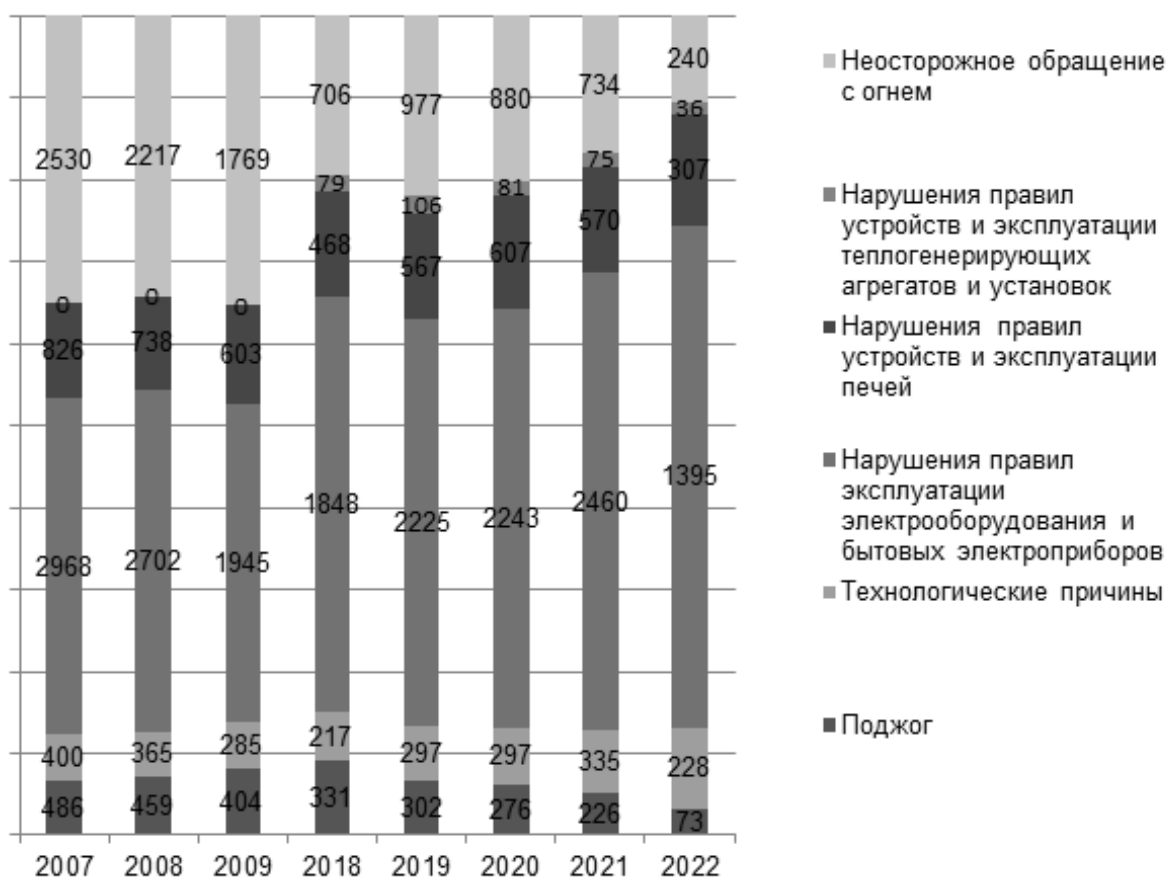


Рис. 3. Основные показатели обстановки с пожарами на производственных объектах за 2007-2009 гг. [2] и за 2018-2022 гг. по причинам [3]

Данные рис. 2 также демонстрируют существенное снижение количества пожаров по различным причинам в период 2018-2022 гг. по сравнению с 2007-2009 гг.

Из анализа данных, приведенных на рис. 2 можно сделать еще один важный вывод: в официально опубликованном источнике отсутствует конкретизация технологических при-

чин, которые и нужны для определения фактической ЧРПС. Соответственно, возникают трудности с определением наиболее опасной аварийной ситуации. В статьях [4,5] уже обосновывалась необходимость объективной информации о виде оборудования, конкретной причине его повреждения, вследствие чего произошла авария и последующий пожар, о

веществах и материалах в поврежденном оборудовании, о параметрах технологического режима. Из официального источника об обстановке с пожарами в 2022 г. исключены сведения и о распределении пожаров по отраслям промышленности и по местам их возникновения.

Федеральной службой по экологическому, технологическому и атомному надзору

(далее – Ростехнадзор) риск аварий на опасных производственных объектах (далее – ОПО) оценивается по разработанному ведомством Руководству по безопасности⁵. В данном документе для оценки частоты инициирующих и последующих событий в анализируемых сценариях аварий рекомендуется использовать информацию, приведенную на рис. 4.



Рис. 4. Виды информации для оценки частоты инициирующих и последующих событий в сценариях аварий на ОПО⁵

В приложениях к Руководству сведены характерные частоты аварийной разгерметизации типового оборудования ОПО.

Авторами изучены Руководства по безопасности, использующегося для оценки опасности аварий на различных ОПО (как было уже отмечено выше). Учитывая то, что на данных объектах эксплуатируется типовое технологическое оборудование с пожаровзрывоопасными технологическими средами, мы сопоставили сведения о видах оборудования, по которым приведены допустимые значения частоты реализации пожароопасных (аварийных) ситуаций по Методике и по Руководству по безопасности, утвержденному Ростехнадзором. Сравнительный анализ показывает более широкую базу данных о рекомендуемых значениях частот реализации аварийных ситуаций в приказе Ростехнадзора⁵, так как в нем учитывается больший перечень типового технологического оборудования.

Анализ аварийных ситуаций приведенных по нефтегазовому комплексу, опубликованных на сайте Ростехнадзора, позволил определить типовое технологическое оборудование с пожаровзрывоопасными средами, на

котором происходят пожары и (или) взрывы [5]. Обобщение результатов обзора позволило нам разработать и рекомендовать к внедрению перечень оборудования, аппаратов, разгерметизация которых приводит, согласно статистике, к авариям с последующим пожаром и (или) взрывом, и инициирующие эту аварию события:

– Технологические трубопроводы. Иницирующие события: разрыв на полное сечение; истечение через отверстие эффективным диаметром 0,1 DN, но не более 50 мм.

– Насосы и компрессоры (центробежные насосы, герметичные, центробежные насосы с уплотнениями, поршневые насосы, компрессоры). Иницирующие события: катастрофическое разрушение, соответствующее разрыву на полное сечение подводящего трубопровода; истечение через отверстие эффек-

⁵ Приказ Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 3 ноября 2022 г. № 387 «Об утверждении Руководства по безопасности "Методические основы анализа опасностей и оценки риска аварий на опасных производственных объектах"»

тивным диаметром 0,1 DN наибольшего подводящего трубопровода, но не более 50 мм.

– Компрессоры (центробежные). Иницилирующее событие: разгерметизация с последующим истечением газа.

– Технологические аппараты (аппараты колонного типа, конденсаторы, фильтры). Иницилирующие события: полное разрушение, мгновенный выброс; истечение через отверстие эффективным диаметром 10 мм.

– Химические реакторы. Иницилирующие события: полное разрушение, мгновенный выброс; истечение через отверстие эффективным диаметром 10 мм.

– Сосуды хранения под давлением. Иницилирующие события: полное разрушение, мгновенный выброс; истечение через отверстие эффективным диаметром 10 мм.

– Резервуары для хранения ЛВЖ и ГЖ (с плавающей крышей, со стационарной крышей), резервуары для хранения горючих газов и СУГ, газгольдеры. Иницилирующие события: полное разрушение, мгновенный выброс; истечение через отверстие эффективным диаметром менее 10 мм включительно; полное разрушение, мгновенный выброс; истечение через отверстие эффективным диаметром более 10 мм.

– Изотермические хранилища (одностенный резервуар, резервуар с внешней защитной оболочкой, резервуар с двойной оболочкой, резервуар полной герметизации, мембранный резервуар, заглубленный резервуар, обсыпанный грунтом резервуар). Иницилирующие события: полное разрушение, мгновенный выброс; истечение через отверстие эффективным диаметром менее 10 мм включительно; полное разрушение, мгновенный выброс; исте-

чение через отверстие эффективным диаметром более 10 мм.

– Теплообменники (пластинчатые теплообменники, кожухотрубные теплообменники (опасное вещество в межтрубном пространстве), кожухотрубные теплообменники (опасное вещество в трубном пространстве), аппараты воздушного охлаждения). Иницилирующие события: разрушение кожуха, мгновенный выброс; истечение из кожуха через отверстие эффективным диаметром 10 мм; разрыв теплообменных труб на полное сечение; разрыв одной теплообменной трубы на полное сечение; истечение через отверстие эффективным диаметром 0,1 DN теплообменной трубы, но не более 50 мм.

– Автомобильные и железнодорожные цистерны (в стационарном положении) (цистерна под избыточным давлением, цистерна при атмосферном давлении). Иницилирующие события: полное разрушение, мгновенный выброс; истечение через отверстие, соответствующее размеру наибольшего соединения.

– Сливно-наливное оборудование для автомобильных, железнодорожных цистерн и морских (речных) транспортных средств (бесшланговое (жесткое) устройство слива-налива, шланг для слива-налива). Иницилирующие события: разрыв на полное сечение; истечение через отверстие эффективным диаметром 0,1 DN наливного устройства (шланга), но не более 50 мм.

Авторы работы [6] представили также статистику видов аварий на технологическом оборудовании применительно к объектам нефтегазового комплекса за период 2017–2021 год по видам аварийных ситуаций как приведено на диаграмме рис. 5.

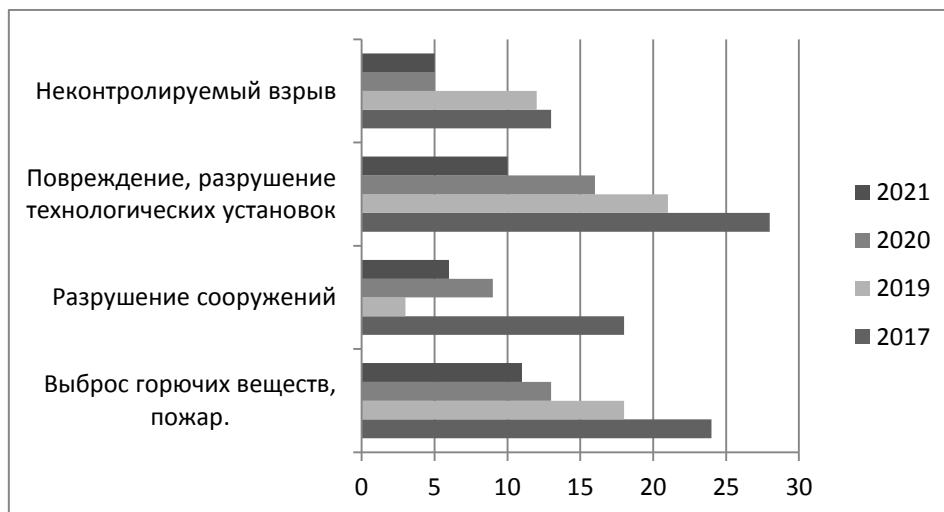


Рис. 5. Статистика данных об авариях на оборудовании нефтегазового комплекса⁶

⁶ За 2018 год сведения отсутствуют

В статье проанализированы наиболее характерные причины возникновения аварий вследствие неисправности или повреждения оборудования нефтегазового комплекса: коррозионный износ оборудования (12 случаев); внешнее механическое воздействие (35 случаев); нарушения при проведении ремонтных работ (4 случая); нарушение герметичности оборудования (5 случаев); техническая неисправность оборудования (7 случаев).

Изучение двух систем учета пожаров и аварий позволяет выявить явные различия в регистрации объектов пожаров (аварий), мест возникновения пожара (аварий), причин пожара (аварий) на производственных объектах. Подробно это описано в статье [4]. В системе учета пожаров МЧС России отсутствует явное разделение производственных объектов по отраслям промышленности (ведомственной принадлежности). В сборниках ВНИИПО МЧС России «Пожары и пожарная безопасность» в последние годы исключен раздел «Пожары на объектах министерств и ведомств Российской Федерации», в котором приводились сведения о пожарах на объектах различных видов промышленности. При этом, как было описано в работе [4] при составлении электронной карточки учета пожаров⁷ заносятся сведения о

типе предприятия, виде объекта пожара и месте возникновения применительно к объектам класса Ф.5. В очередной раз проявляется проблема самостоятельного определения частоты реализации пожароопасной или аварийной ситуации по статистическим данным, так как эти данные не систематизированы и не публикуются для общего доступа.

Авторами, как рекомендация, предлагается создание единого информационного ресурса о пожарах (взрывах) на технологическом оборудовании производственных объектов и в зданиях, и на открытом пространстве, построенного на основе сведений МЧС России и Ростехнадзора.

Структура данного ресурса имеет вид, приведенный в табл. 1.

Данный ресурс рекомендуется заполнять органам, проводившим расследование аварийной ситуации. В данной базе допускается сделать ограничение: учитываются только те аварии, которые сопровождались пожаром (взрывом), т.е. созданием пожароопасных ситуаций. Затем эти сведения будут заноситься в обобщающую систему, необходимую для расчета частоты. В качестве примера образ ресурса показан в табл. 2. В таблицу сводится накопительное количество инцидентов за год.

Таблица 1. Проект содержания информационного ресурса о пожарах (взрывах) на технологическом оборудовании производственных объектов

СВЕДЕНИЯ ОБ ОБЪЕКТЕ		СВЕДЕНИЯ ОБ АВАРИЙНОЙ СИТУАЦИИ	
НАИМЕНОВАНИЕ СУБЪЕКТА РФ	ячейка для заполнения	ДАТА АВАРИЙНОЙ СИТУАЦИИ	ячейка для заполнения
		ВИД ГОРЮЧЕГО ВЕЩЕСТВА	ячейка для заполнения
		ВИД ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ	ячейка для заполнения
		ВЕЛИЧИНА ДАВЛЕНИЯ В ОБОРУДОВАНИИ, МПа	ячейка для заполнения
НАСЕЛЕННЫЙ ПУНКТ	ячейка для заполнения	УЧАСТОК ОБОРУДОВАНИЯ	ячейка для заполнения
		РАЗМЕР ПОВРЕЖДЕНИЯ (СЕЧЕНИЕ ОТВЕРСТИЯ), ММ	ячейка для заполнения
		ИНИЦИИРУЮЩЕЕ АВАРИЮ СОБЫТИЕ	ячейка для заполнения
ОТРАСЛЬ ПРОМЫШЛЕННОСТИ	ячейка для заполнения	ПРИЧИНА АВАРИИ	ячейка для заполнения
		ПОСЛЕДСТВИЯ: количество погибших количество травмированных материальный ущерб	ячейка для заполнения

⁷ Приказ МЧС России от 04.10.2022 № 954 «Об утверждении Регламента работы в информационной системе «Автоматизированная аналитическая система поддержки и управления контрольно-надзорными органами МЧС России»

Таблица 2. Образ ресурса о количестве аварийных ситуаций на технологическом оборудовании в зависимости от вида повреждения по годам

ГОД	2019	2020	2021	2022
ВИД ПОВРЕЖДЕНИЯ	разгерметизация технологических трубопроводов с ЛВЖ (нефть)			
Разрыв на полное сечение (ед.)				
Истечение через отверстие эффективным диаметром 0,1DN, но не более 50 мм (ед.)				

В заключение можно сказать, что ЧРПС на производстве является важным показателем, который позволяет оценить уровень безопасности. Изучение случайных событий, описывающих аварии на технологическом оборудовании, с использованием законов математической статистики подразумевает введение количественной оценки наступающих событий. Реализация вероятностного подхода при проведении исследования обуславливается тем,

что наступление одних событий возможно в большей степени, чем других. Получение достоверной информации о частотах указанных событий возможно при систематизации информации, унификации подходов к её обобщению и кодификации инструкций и рекомендаций по осуществлению наблюдения. Увеличение количества наблюдений позволит получить статистическую устойчивость частоты реализации пожароопасных ситуаций.

Список литературы

1. Письменный Д. Т. Конспект лекций по теории вероятностей, математической статистике и случайным процессам. 4-е изд., испр. М.: АЙРИС-пресс, 2008. 287 с.
2. Пожары и пожарная безопасность в 2010 году: Статистический сборник. Под общей редакцией В. И. Климкина. М.: ВНИИПО, 2011, 140 с.
3. Пожары и пожарная безопасность в 2022 году: информационно-аналитический сборник. Балашиха: ФГБУ ВНИИПО МЧС России, 2023. 80 с.
4. Салихова А. Х. Совершенствование системы учета пожаров на производственных объектах // Актуальные проблемы пожарной безопасности: материалы XXXII Международной научно-практической конференции. Иваново: Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, 2020. С. 182–187.
5. Анализ и систематизация статистических данных о пожарах на производственных объектах / А. Х. Салихова, Е. А. Шварев, В. Н. Михалин [и др.] // Современные проблемы гражданской защиты. Вып. 3 (44). 2022. С. 60–67.
6. Полякова С. А., Ильичёв С. С. Анализ аварийности на объектах нефтегазовой отрасли России // Молодой ученый. 2022. № 16 (411). С. 115–117. URL: <https://moluch.ru/archive/411/90471/> (дата обращения: 20.07.2023).

References

1. Pis'mennyj D. T. Konspekt lekcij po teorii veroyatnostej, matematicheskoj statistike i sluchajnym processam. 4-e izd., ispr. [Lecture notes on probability theory, mathematical statistics and random processes. 4th ed., rev.]. Moscow: AJRIS-press, 2008. 287 p.
2. *Pozhary i pozharnaya bezopasnost' v 2010 godu: Statisticheskij sbornik* [Fires and fire safety in 2010: Statistical collection]. Pod obshchej redakciej V. I. Klimkina. Moscow: VNIIPPO, 2011, 140 p.
3. *Pozhary i pozharnaya bezopasnost' v 2022 godu: informatsionno-analiticheskij sbornik* [Fires and fire safety in 2022: information and analytical collection]. Balashiha: FGBU VNIIPPO MCHS Rossii, 2023. 80 p.
4. Salihova A. H. Sovershenstvovanie sistemy ucheta pozharov na proizvodstvennyh ob'ektah [Improving the system for recording fires at production facilities] // *Aktual'nye problemy pozharnoj bezopasnosti: materialy XXXII Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii*. Ivanovo: Ivanovskaya pozharnospasatel'naya akademiya GPS MCHS Rossii, 2020, pp. 182–187.
5. Analiz i sistematizaciya statisticheskikh dannyh o pozharah na proizvodstvennyh ob'ektah [Analysis and systematization of statistical data on fires at production facilities] / A. H. Salihova, E. A. Shvarev, V. N. Mihalin [et al.]. *Sovremennye problemy grazhdanskoj zashchity*, vol. 3 (44), 2022, pp. 60–67.

6. Polyakova S. A., Il'ichyov S. S. Analiz avarijnosti na ob'ekтах neftegazovoj otrasli Rossii [Analysis of accident rates at Russian oil and gas industry facilities]. *Molodoj uchenyj*, 2022,

vol. 16 (411), pp. 115–117.
<https://moluch.ru/archive/411/90471/>
obrashcheniya: 20.07.2023).

URL:
(data

Салихова Аниса Хамидовна

Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,
Российская Федерация, г. Иваново
доцент, кандидат технических наук, доцент
E-mail: salina_77@mail.ru

Salikhova Anisa Khamidovna

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

Шварев Евгений Анатольевич

Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,
Российская Федерация, г. Иваново
доцент, кандидат технических наук, доцент
E-mail: e_shvarev@inbox.ru

Shvarev Evgeny Anatolevich

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

Самойлов Дмитрий Борисович

Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,
Российская Федерация, г. Иваново
начальник учебно-научного комплекса, кандидат технических наук, доцент
E-mail: shihonage@mail.ru

Samoilov Dmitry Borisovich

Federal State Budget Educational Establishment of Higher Education «Ivanovo Fire Rescue Academy of State Firefighting Service of Ministry of Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters»,
Russian Federation, Ivanovo
head of the educational and scientific complex, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor
E-mail: shihonage @mail.ru

Лазарев Александр Александрович

Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,
Российская Федерация, г. Иваново
начальник кафедры, кандидат педагогических наук, кандидат технических наук, доцент
E-mail: kgn@edufire37.ru

Lazarev Alexander Alexandrovich

Federal State Budget Educational Establishment of Higher Education «Ivanovo Fire Rescue Academy of State Firefighting Service of Ministry of Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters»,
Russian Federation, Ivanovo,
Candidate of pedagogical sciences, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor
E-mail: kgn@edufire37.ru

УДК 614.843.3

АЛЬТЕРНАТИВНЫЙ СПОСОБ РЕМОНТА НАПОРНЫХ ПОЖАРНЫХ РУКАВОВ

И. В. САРАЕВ, А. Д. СЕМЕНОВ

Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,
Российская Федерация, г. Иваново
E-mail: saraev-i-v@mail.ru, sad8_3@mail.ru

В статье представлены результаты опроса экспертной группы в области проведения ремонта напорных пожарных рукавов. При этом выявлено, что ремонт рукавов является достаточно трудоёмким процессом, требующим не только оборудованной материальной базы подразделения, но и значительного количества времени, а также задействованного личного состава. Наряду с этим, решён ряд задач по разработке альтернативного способа ремонта напорных пожарных рукавов, а также алгоритма его реализации в стационарных и полевых условиях.

Ключевые слова: ремонт, пожарный рукав, заклёпка, обзор, алгоритм.

ALTERNATIVE METHOD OF REPAIRING PRESSURE FIRE HOSES

I. V. SARAEV, A. D. SEMENOV

Federal State Budget Educational Establishment of Higher Education
«Ivanovo Fire Rescue Academy of State Firefighting Service of Ministry of Russian Federation
for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters»,
Russian Federation, Ivanovo
E-mail: saraev-i-v@mail.ru, sad8_3@mail.ru

The article presents the results of a survey of an expert group in the field of repair of pressure fire hoses. At the same time, it was revealed that the repair of sleeves is a rather laborious process, requiring not only the equipped material base of the unit, but also a significant amount of time, as well as the personnel involved. Along with this, a number of tasks have been solved to develop an alternative method for repairing pressure fire hoses, as well as an algorithm for its implementation in stationary and field conditions.

Key words: repairs, fire hose, rivet, review, algorithm.

Предупреждение и ликвидация чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера является основной задачей Министерств и Ведомств для достижения целей обеспечения государственной и общественной безопасности в рамках реализации Стратегии¹ национальной безопасности Российской Федерации.

Концепция² общественной безопасности в Российской Федерации подразумевает непрерывное улучшение и поддержание достаточной готовности сил и средств обеспечения общественной безопасности, включая систему вызова экстренных оперативных служб по всей территории страны, защиту населения

от чрезвычайных ситуаций как природного, так и техногенного характера, а также обеспечение пожарной безопасности и безопасности на водных объектах. Помимо этого, важной задачей является повышение уровня материального и технического оснащения сил обеспечения общественной безопасности.

Согласно статистике применения пожарной техники, в подразделениях МЧС России известно, что пожарные рукава относятся к основному виду пожарно-технического оборудования и от их надёжности зависит успешность проведения боевых действий по тушению пожара и проведения аварийно-спасательных и других неотложных работ. Пожарные рукава, по большей степени, неприхотливы при эксплуатации и не требуют каких-либо специальных условий применения, при этом они используются на порядок чаще, чем другое пожарно-техническое оборудование и вооружение.

© Сараев И. В., Семенов А. Д.

¹ Указ Президента Российской Федерации от 2 июля 2021 года № 400 «О Стратегии национальной безопасности Российской Федерации»

² Указ Президента Российской Федерации от 14 ноября 2013 года Пр-2685 «Концепция общественной безопасности в Российской Федерации»

В настоящее время техническое обслуживание и ремонт пожарных рукавов, осуществляется исключительно на линиях обслуживания пожарных рукавов (ЛОПР) в пожарных частях или на специализированных рукавных базах, обслуживающих несколько пожарных частей.

Таким образом можно сформулировать гипотезу исследования – разработка способа оперативного ремонта рукавов (гибких трубопроводов) может повысить эффективность действий ПСП МЧС России за счёт сокращения времени ремонта рукавов непосредственно на месте пожара.

Целью работы – является разработка способа ремонта напорных пожарных рукавов,

позволяющего проводить их оперативный ремонт в стационарных и полевых условиях.

С целью подтверждения актуальности проводимого исследования был проведён опрос экспертов (сотрудников ПСП, занимающихся ремонтом рукавов), который наглядно демонстрирует важность рассматриваемого вопроса (рис. 1). В ходе опроса, экспертам предлагалось оценить актуальность изучения вопроса ремонта пожарных рукавов по 10-и бальной шкале, где 10 баллов – наибольшая актуальность, а 0 баллов наименьшая.

Наряду с актуальностью, эксперты отвечали на многие другие вопросы, одним из которых была и оценка трудоёмкости мероприятий по восстановлению (ремонту) рукавов (рис. 2).

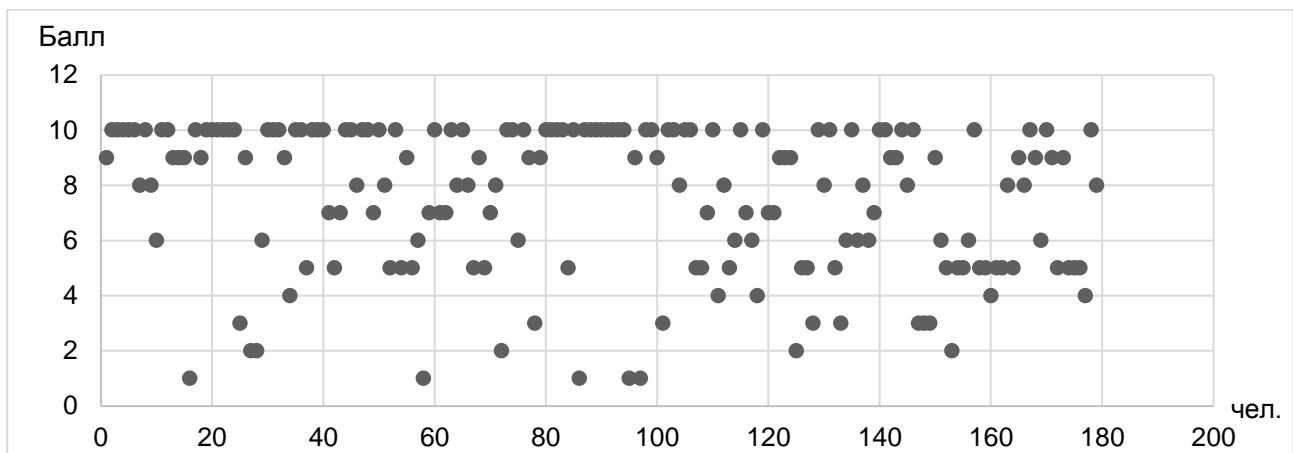


Рис. 1. Результаты опроса экспертов в области актуальности исследования

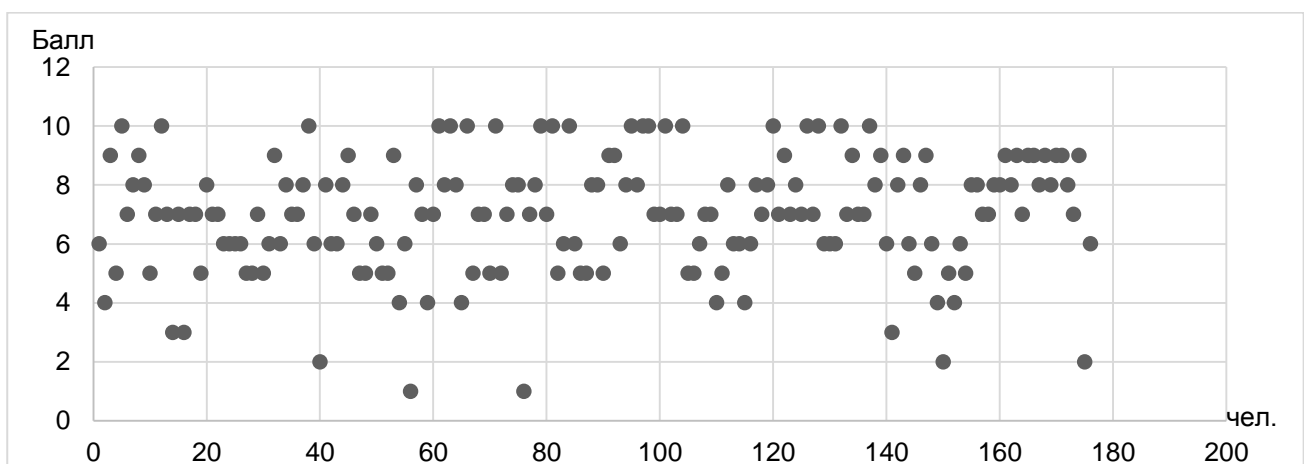


Рис. 2. Результаты оценки трудоёмкости ремонта рукавов

Из данных рис. 2. следует, что в настоящее время ремонт рукавов является достаточно трудоёмким процессом, в котором задействовано от 2 до 4 человек личного состава

ПСП. Из данных опроса также известно, что наиболее часто происходят порывы, порезы или «свищи».

В настоящее время ремонт рукавов производится в соответствии с приказом³ и подразумевает:

- 1) приклеивание заплат;
- 2) вулканизация сырой резиной.

Проведение ремонта традиционными способами возможно только в ПСП с использованием специализированного инструмента, что является их основным недостатком. В связи с этим был разработан новый способ оперативного ремонта рукавов путем заклепывания «свища» на месте пожара, который может проводиться одним человеком, что позволит ускорить процесс и повысить эффективность действий ПСП МЧС России. Однако перед этим необходимо изучить разные виды заклепочных соединений, начиная с горячей клёпки, которая используется для силовых или прочноплотных креплений при диаметре заклёпок более 8-10 мм, в то время как заклёпки меньшего диаметра применяют в креплениях в холодную [4–11].

Горячее заклепывание включает несколько этапов: предварительную формовку заклепки, нагревание головки заклепки до пластического состояния при температуре около 900–1000 °С, введение заклепки в заранее подготовленное отверстие и осаждение противоположного конца заклепки с помощью клепального инструмента, прессового или ударного действия. Таким образом образуется замыкающая головка и заклепка при остывании усаживается, плотно сжимая соединяемые элементы (рис. 3, а, б) [4–11]. Далее, при остывании, заклёпка усаживается и плотно сжимает соединяемые детали.

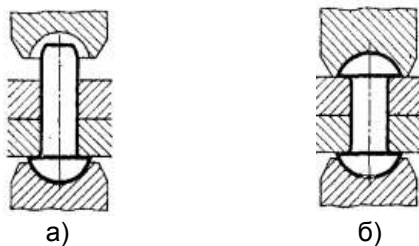


Рис. 3. Схема горячего клепания

На практике при определении параметров заклепочных соединений учитываются конструктивные особенности и условия эксплуатации конечного изделия, такие как рабочая температура, требования к герметичности и воздействие агрессивных сред. При холодном клепании усадка заклепки достигается

благодаря пластической деформации ее материала при расклепывании. В этом случае, осевая сила, сжимающая соединенные детали, значительно ниже, чем при горячем заклепывании, и зависит от уровня пластической деформации заклепок, который может варьироваться и иметь постоянное значение только при механическом клепании [4–11].

При выполнении холодного клепания, нагартровка заклёпки положительно влияет на общую прочность соединения, так как упрочняет материал заклепки. В машиностроении применяется больше холодное клепание, так как оно не наносит теплового воздействия на соединяемые материалы и позволяет получить прочное соединение без искажения размеров и положения деталей. В специальных (специализированных) соединениях применяют различные заклепки в зависимости от условий их применения, используя коррозионностойкие стали, жаропрочные и жаростойкие сплавы [4–11].

Для соединения изделий из цветных металлов и крепления мягких материалов к металлическим, используют заклепки из бронзы, латуни, меди, алюминия и его сплавов. При необходимости повышенной стойкости к коррозии используют заклепки из нержавеющей сталей, никелевых или титановых сплавов, а также монель-металла. Для создания силовых соединений из алюминиевых сплавов зачастую используют заклепки из дюралюминия Д1, Д16 [4–11].

Неразъемные соединения могут быть выполнены несколькими способами, такими как:

- 1) стержневые;
- 2) трубчатые;
- 3) пистонные;
- 4) закладные;
- 5) специальные.

Стержневые заклёпки (рис. 4) наиболее часто используются в соединениях, испытывающих высокие нагрузки. При этом стержень заклёпки должен быть сделан из прочной закаленной стали и устанавливаться в отверстие с «натягом», чтобы предотвратить расклепывание. Для создания замыкающей головки заклёпки используют завальцовку колец из пластичного металла в кольцевые выточки стержня. [4–11].

³ Приказ МЧС России от 01.10.2020 № 737 «Об утверждении руководства по организации материально-технического обеспечения МЧС России (Приложение № 43)»

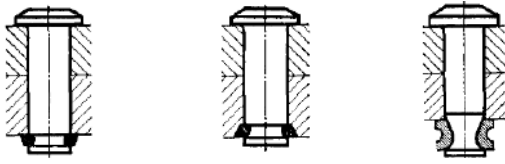


Рис. 4. Стержневые заклёпки



Рис. 5. Трубчатые и полутрубчатые заклёпки

Трубчатые заклёпки в основном применяют для соединений, несущих небольшие нагрузки.

Для изготовления заклёпок используют сортовые трубки. Закладную головку обычно формируют заранее (рис. 5). Свободный край заклёпки раскрывают с помощью пуансона, а крепление большего диаметра – с помощью вращающейся вальцовки [4–11].

В свою очередь, пистонные заклёпки производятся из трубок с тонкими стенками (примерно 0,2-0,5 мм), такие заклёпки чаще всего используются для соединения мягких материалов, таких как ткань, кожа, пластмассы и т.д.

Простейшая форма пистонной заклёпки – развальцованная трубка с двух сторон на плоскость (рис. 6 а) или внутрь (рис. 6 б).

Если невозможно использовать клепальный инструмент для создания замыкающей головки, то применяются закладные заклёпки, которые устанавливаются и закрепляются с одной стороны [4-11].

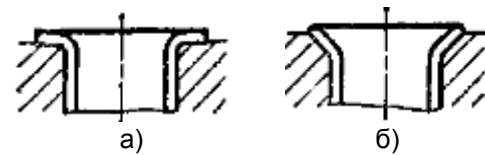


Рис. 6. Пистонные заклёпки

Обычно это простые трубчатые заклёпки, протыкаемые пуансоном, с перемычкой на конце стержня заклёпки (рис. 7, а) или коническим вырезом (рис. 7, в). При прошивании пуансон развальцовывает металл, образуя замыкающую головку (рис. 7, б, г).

Существуют специальные дистанционные заклёпки, которые используются для соединения деталей, находящихся на одинаковом расстоянии друг от друга (рис. 8) и представляют особый тип заклёпок.



Рис. 7. Закладные заклёпки



Рис. 8. Специальные заклёпки

Из информации, представленной выше, становится понятно, что идея неразъёмных (заклёпочных) соединений нашла широкое применение в различных областях машиностроения и не только. Такой способ крепления

применяется не только для крепежа металлических конструкций, но и стеклянных, деревянных, кожаных и других материалов. Стоит отметить, что в настоящее время неразъёмный (заклёпочный) способ крепления не применял-

ся для реализации нужд пожаротушения, особенно для ремонта пожарных рукавов.

Но прежде чем применять неразъёмный (заклёпочный) способ крепления при ремонте пожарных рукавов стоит разобрать состав и структуру последних.

Напорные пожарные рукава состоят⁴ из тканого каркаса и внутреннего гидроизоляционного покрытия (рис. 9).

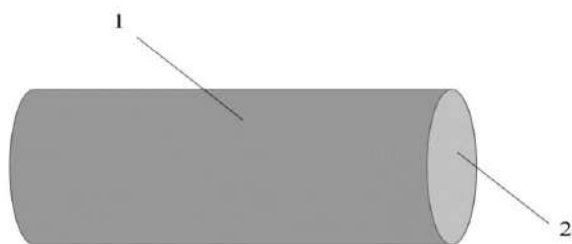


Рис. 9. Общий вид напорного пожарного рукава:
1 – внешний тканый каркас;

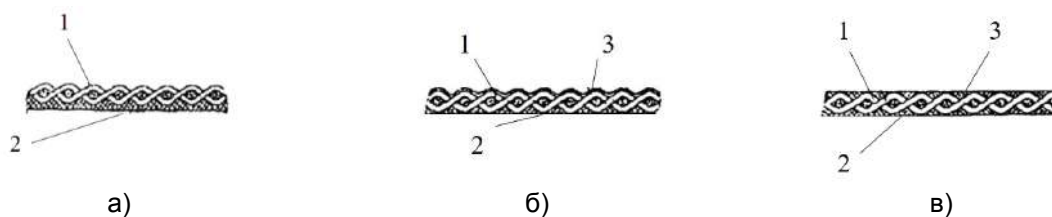


Рис. 10. Схемы конструкций пожарных рукавов:
а – прорезиненный рукав с внутренним гидроизоляционным слоем;
б – латексированный рукав; в – рукав с двусторонним покрытием;
1 – армирующий каркас рукава; 2 – внутренний слой; 3 – наружный защитный слой

Таким образом, напорный пожарный рукав, в зависимости от его вида, представляет собой изделие, состоящее из наружного защитного слоя, армирующего каркаса и внутреннего прорезиненного слоя, воздействие клёпки, на которые предстоит исследовать в дальнейшей работе.

Предлагаемый способ оперативного ремонта рукавов может быть применен для ремонта рукавов диаметрами DN 50-150 вне зависимости от материала, из которого изготовлен рукав (рис. 11):

1) необходимо раскатать повреждённый рукав, если ремонт производится в условиях подразделения (стационарные условия) или слить с него воду, если ремонт проводится непосредственно на месте пожара (полевые условия);

2 – внутренний гидроизоляционный слой

Каркас напорных пожарных рукавов создаётся из натуральных нитей, синтетических и химических волокон.

Внутреннее гидроизоляционное покрытие создаётся из различных материалов, таких как резина, латекс или полиуретан.

В зависимости от цели и уровня стойкости к воздействию внешней среды, каркас напорного пожарного рукава может быть оборудован наружным защитным покрытием или пропиткой.

Наружное и внутреннее покрытие рукава, являющиеся частью каркаса, могут использоваться для создания цельной конструкции.

Перфорированный напорный пожарный рукав производится без внутреннего гидроизоляционного и наружного покрытия.

Схемы⁵ конструкций пожарных рукавов представлены на рис. 10.

2) выделить место повреждения рукава любым удобным способом и подручными материалами, например, отметить место повреждения, выделив его маркером и (или) вставить в место повреждения предмет (спичку, палочку и др.), но таким образом, чтобы исключить дополнительное повреждение рукава;

3) установить на заклёпку шайбу и резиновую прокладку;

4) полученную конструкцию вставляем в паз на разрабатываемом устройстве;

5) помещаем устройство во внутреннюю полость повреждённого пожарного рукава через ближайшую соединительную головку;

6) перемещаем разрабатываемое устройство внутри пожарного рукава путём наклона рукава к, отмеченному ранее, месту повреждения и вставляем в него заклёпку. Пе-

⁴ ГОСТР 51049-2019 Техника пожарная. Рукава пожарные напорные. Общие технические требования. Методы испытаний. М.: Стандартинформ, 2019. 27 с.

⁵ НПБ 152-2000 «Техника пожарная. Рукава пожарные напорные. Технические требования пожарной безопасности. Методы испытаний»

ремещение разрабатываемого устройства осуществляется за счёт его массы;

7) фиксируя полученную конструкцию с наружной стороны рукава, извлекаем её из паза разрабатываемого устройства;

8) перемещаем разрабатываемое устройство в области повреждения таким образом, чтобы повреждённый участок рукава оказался по его центру, а затем опираем заклёпку на корпус устройства;

9) надеваем резиновую прокладку и металлическую шайбу на выступающую из пожарного рукава часть заклёпки;

10) при помощи столярного молота заклёпываем отверстие на повреждённом участке рукава;

11) после технологических операций, указанных выше, извлекаем разрабатываемое устройство из рукава по кратчайшему пути до соединительной арматуры;

12) после чего можем продолжить боевые действия по тушению пожара или испытываем рукав с дальнейшей постановкой его в расчёт.

Следует отметить, что данная технология не требует специальных знаний и умений оператора при проведении ремонтных работ, а также не требует какого-либо дополнительного технологического оборудования.

Разработанный алгоритм для ремонта пожарных рукавов имеет преимущественные отличия, заключающиеся в том, что позволяет осуществить оперативный и качественный ремонт напорных пожарных рукавов как на месте пожара, так и в условиях ПСП. Данный факт существенно повысит эффективность действий целевых подразделений при тушении пожаров и проведении аварийно-спасательных работ за счёт снижения временных затрат на восстановление работоспособности рукавов.

Таким образом, проведён анализ методов и способов клёпки, применительно к рукавам, который показал, что большинство существующих методов неразъёмного крепления (клёпки) применимы исключительно для крепления металлических конструкций. При этом, для ремонта рукавов, применим метод холодного клепания. Причём сама клёпка должна представлять собой цельную конструкцию с круглой либо плоской головкой. Выявлено, что в качестве материала заклёпки предпочтительно использовать соединения цветных металлов, а также из меди, алюминия и алюминиевых сплавов.



Рис. 11. Алгоритм реализации технологии оперативного ремонта

В результате чего разработан способ оперативного ремонта рукавов способом клёпки, который включает в себя одиннадцать пунктов (технологических операций). Теоретическую ценность технологических операций по ремонту рукавов (гибких трубопроводов) подкрепляет разработанный алгоритм реализации технологии оперативного ремонта. При этом, разработанный способ применим для напорных пожарных рукавов вне зависимости от их условных проходов (DN 50-150) и материалов, способом, ранее не применяемом для этих целей. По сравнению с существующими способами ремонта, применяемый способ сокращает время ремонта с 24 часов до 5 минут, при этом позволяет проводить ремонт рукавов в стационарных и полевых условиях, что является одновременно и практически значимым результатом.

Работа выполнена при поддержке Фонда содействия инновациям.

Список литературы

1. Орлов П. И. Основы конструирования. Справочно-методическое пособие в 3-х книгах. Кн. 2. Изд. 2-е, перераб. и доп. М.: Машиностроение, 1977. 574 с.
2. Орлов П. И. Основы конструирования. Справочно-методическое пособие в 2-х книгах. Кн. 2. Изд. 3-е, исправл. М.: Машиностроение, 1988. 544 с.
3. Орлов П. И. Основы конструирования. Справочно-методическое пособие в 2-х книгах. Кн. 1. Изд. 3-е, исправл. М.: Машиностроение, 1988. 560 с.
4. Анурьев В. И. Справочник конструктора-машиностроителя: в 3-х томах. Т 1. 8-е изд., перераб. и доп. М.: Машиностроение, 2001. 920 с.
5. Анурьев В. И. Справочник конструктора-машиностроителя: в 3-х томах. Т 2. 8-е изд., перераб. и доп. М.: Машиностроение, 2001. 912 с.
6. Анурьев В. И. Справочник конструктора-машиностроителя: в 3-х томах. Т 3. 8-е изд., перераб. и доп. М.: Машиностроение, 2001. 864 с.
7. Скойбеда А. Т., Кузьмин А. В., Макейчик Н. Н. Детали машин и основы конструирования: учебник. Мн.: Высшая школа, 2006. 560 с.
8. Ложкин Ю. В. Виды соединений материалов: учебно-методическое пособие к лабораторным занятиям по курсу «Технологии соединений материалов в художественных изделиях» для студентов специальностей 261001 «Технология художественной обработки материалов» и 070603 «Искусство интерьера». Ижевск: ИжГТУ, 2008. 64 с.

References

1. Orlov P. I. *Osnovy konstruirovaniya. Spravochno-metodicheskoye posobiye v 3-kh knigakh* [Design basics. Reference manual in 3

books] Kn. 2. Izd. 2-ye, pererab. i dop. M.: Mashinostroyeniye, 1977. 574 p.

2. Orlov P. I. *Osnovy konstruirovaniya. Spravochno-metodicheskoye posobiye v 2-kh knigakh* [Design basics. Reference manual in 2 books]. Kn. 2. Izd. 3-ye, ispravl. M.: Mashinostroyeniye, 1988. 544 p.

3. Orlov P. I. *Osnovy konstruirovaniya. Spravochno-metodicheskoye posobiye v 2-kh knigakh* [Design basics. Reference manual in 2 books]. Kn. 1. Izd. 3-ye, ispravl. M.: Mashinostroyeniye, 1988. 560 p.

4. Anur'yev V. I. *Spravochnik konstruktora-mashinostroitelya: v 3-kh tomakh. T 1* [Handbook of the designer-machine builder: in 3 volumes]. 8-ye izd., pererab. i dop. M.: Mashinostroyeniye, 2001. 920 p.

5. Anur'yev V. I. *Spravochnik konstruktora-mashinostroitelya: v 3-kh tomakh. T 2* [Handbook of the designer-machine builder: in 3 volumes] 8-ye izd., pererab. i dop. M.: Mashinostroyeniye, 2001. 912 p.

6. Anur'yev V. I. *Spravochnik konstruktora-mashinostroitelya: v 3-kh tomakh. T 3* [Handbook of the designer-machine builder: in 3 volumes]. 8-ye izd., pererab. i dop. M.: Mashinostroyeniye, 2001. 864 p.

7. Skoybeda A. T., Kuz'min A. V., Makeychik N. N. *Detali mashin i osnovy konstruirovaniya: uchebnik* [Machine parts and design basics: a textbook.]. Mn.: Vysshaya shkola, 2006. 560 p.

8. Lozhkin Yu. V. *Vidy soyedineniy materialov: uchebno-metodicheskoye posobiye k laboratornym zanyatiyam po kursu «Tekhnologii soyedineniy materialov v khudozhestvennykh izdeliyakh» dlya studentov spetsial'nostey 261001 «Tekhnologiya khudozhestvennoy obrabotki materialov» i 070603 «Iskusstvo inter'yera»* [Types of compounds of materials: teaching aid for laboratory classes on the course "Technologies of compounds of materials in art products" for students of specialties 261001 "Technology of artistic processing of materials" and 070603 "Interior art"]. Izhevsk: IzhGTU, 2008. 64 p.

Сараев Иван Витальевич

Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,

Российская Федерация, г. Иваново

Кандидат технических наук

E-mail: saraev-i-v@mail.ru

Saraev Ivan Vitalevitch

Federal State Budget Educational Establishment of Higher Education «Ivanovo Fire Rescue Academy

of State Firefighting Service of Ministry of Russian Federation for Civil Defense, Emergencies

and Elimination of Consequences of Natural Disasters»,

Russian Federation, Ivanovo

Candidate of Technical Sciences

E-mail: saraev-i-v@mail.ru

Семенов Андрей Дмитриевич

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

кандидат технических наук

E-mail: sad8_3@mail.ru,

Semenov Andrey Dmitrievich

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

Russian Federation, Ivanovo

candidate of technical sciences

E-mail: sad8_3@mail.ru.

УДК 614.849

ВОССТАНОВЛЕНИЕ БОЕГОТОВНОСТИ МОБИЛЬНЫХ СРЕДСТВ ПОЖАРОТУШЕНИЯ В УСЛОВИЯХ НИЗКИХ ТЕМПЕРАТУР

И. В. САРАЕВ, А. Д. СЕМЕНОВ, А. Н. БОЧКАРЁВ

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

E-mail: saraev-i-v@mail.ru, sad8_3@mail.ru, artem_bochkarev_82@bk.ru

В статье определены группы мероприятий, выполнение которых составляет процесс восстановления боеготовности мобильных средств пожаротушения и является наиболее трудозатратным. Сгенерированы показатели – критерии, оказывающие негативное влияние на процесс восстановления боеготовности мобильных средств пожаротушения. Разработана модель и алгоритм проведения мероприятий по восстановлению боеготовности, которые представляют данные процессы в графической форме, что позволяет прогнозировать и оценивать результативность проводимых работ с возможностью вариации исходных данных. Определено, что среднее время восстановления боеготовности мобильных средств пожаротушения увеличивается на 10–30 %, что в значительной мере определяется природно-климатическими особенностями региона (сильный мороз и ветер), а также надёжностью мобильных средств пожаротушения.

Ключевые слова: боеготовность, боевая готовность, восстановление, мобильные средства пожаротушения, низкая температура.

RESTORATION OF COMBAT READINESS OF MOBILE FIRE EXTINGUISHING EQUIPMENT IN CONDITIONS OF LOW TEMPERATURES

I. V. SARAEV, A. D. SEMENOV, A. N. BOCHKAREV

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

E-mail: saraev-i-v@mail.ru, sad8_3@mail.ru, artem_bochkarev_82@bk.ru

The article defines groups of activities, the implementation of which is the process of restoring the combat readiness of mobile fire extinguishing equipment and is the most labor-intensive. Indicators were generated - criteria that have a negative impact on the process of restoring the combat readiness of mobile fire extinguishing equipment. A model and algorithm for carrying out measures to restore combat readiness have been developed, which represent these processes in a graphical form, which makes it possible to predict and evaluate the effectiveness of ongoing work with the possibility of varying the initial data. It has been determined that the average recovery time for the combat readiness of mobile fire extinguishing equipment increases by 10–30 %, which is largely determined by the natural and climatic features of the region (hard frost and wind), as well as the reliability of mobile fire extinguishing equipment.

Key words: combat readiness, combat readiness, recovery, mobile fire fighting equipment, low temperature.

В соответствии с приказом МЧС России¹, восстановление боеготовности пожарно-

© Сараев И. В., Семенов А. Д., Бочкарёв А. Н., 2023

¹ Приказ МЧС России от 16 октября 2017 г. № 444 "Об утверждении Боевого устава подразделений пожарной охраны, определяющего порядок органи-

спасательных подразделений (ПСП) является составной частью боевых действий по тушению пожара, проводимых после его тушения. Общее время проведения работ по восстановлению боеготовности не должно превышать

заций тушения пожаров и проведения аварийно-спасательных работ"

40 минут. При этом, приказом не учитываются территориальные особенности расположения ПСП, которые могут иметь значительные расхождения и влияние на процесс восстановления боеготовности подразделений.

Вопросам восстановления боеготовности, а также повышения эффективности ПСП, посвящён ряд научных работ [1–7], при этом они рассматривают исключительно техническую составляющую вопроса – повышение эффективности применения и совершенствования мобильных средств пожаротушения, не рассматривая сам процесс формирования проблемы восстановления боеготовности ПСП в зависимости от их территориального расположения.

Таким образом можно сформулировать гипотезу исследования – эксплуатация мобильных средств пожаротушения и пожарнотехнического оборудования в условиях низких температур влияет на время восстановления их боевой готовности.

Цель исследования – исследование процесса восстановления боевой готовности мобильных средств пожаротушения при возвращении в пожарно-спасательное подразделение после тушения пожара в условиях низких температур.

Исследование проводилось на территории Усинского пожарно-спасательного гарнизона Республики Коми и подразумевало 3 этапа достижения поставленной цели в рамках которого реализовывалось решение 5 научных задач и представляло собой оценку эффективности восстановления боеготовности мобильных средств пожаротушения после тушения пожара в условиях низких температур.

На первом этапе проведена значительная работа по формированию теоретической базы проводимого исследования, в том числе анализ нормативной базы, регламентирующей перечень и сроки выполнения мероприятий при восстановлении боеготовности мобильных средств пожаротушения по возвращению в ПСП. Наряду с этим определён ряд показателей, имеющих негативное влияние на эффективность проведения мероприятий по восстановлению боеготовности. Для лучшей интерпретации и визуализации процесса влияния негативных показателей на результативность проведения мероприятий по восстановлению боеготовности была построена трёхуровневая иерархия по определению наиболее ресурсозатратного мероприятия. Результатирующей частью первого этапа стало формирование бланков опроса экспертов (личного состава ПСП), имеющих большой опыт эксплуатации мобильных средств пожаротушения, а также модели и алгоритма проведения мероприятий по

восстановлению их боеготовности после применения в условиях низких температур.

В рамках выполнения второго этапа была сформирована экспертная группа и проведён её опрос по оценке восстановления боевой готовности мобильных средств пожаротушения после тушения пожаров в условиях низких температур.

В рамках третьего этапа исследования проведена обработка полученных в ходе опроса данных с выявлением мероприятий и показателей – критериев, имеющих наибольшее влияние на восстановление боеготовности мобильных средств пожаротушения с последующей разработкой способа оценки эффективности приведения мобильных средств пожаротушения в состояние боевой готовности после тушения пожаров в условиях низких температур.

В рамках реализации первого этапа исследования проведён анализ нормативной базы, регламентирующей перечень и сроки выполнения мероприятий при восстановлении боеготовности мобильных средств пожаротушения по возвращению в пожарно-спасательную часть, в результате которой определены следующие мероприятия²:

М₁ – визуальный осмотр начальником караула состояния подчинённого личного состава;

М₂ – заправка пожарного автомобиля (ПА) горюче-смазочными материалами и огне-тушащими веществами;

М₃ – замена неисправного пожарного оборудования, средств индивидуальной защиты и самоспасания пожарных, пожарного инструмента, средств спасения людей, средств связи, обмундирования (боевой одежды, формы одежды), а также замену промокших пожарных рукавов на сухие и их сушку;

М₄ – техническое обслуживание ПА;

М₅ – заправка (замена) воздушных (кислородных) баллонов СИЗОД;

М₆ – зарядка аккумуляторных батарей средств связи и освещения;

М₇ – укладка боевой одежды и снаряжения на стеллажи;

М₈ – мойка ПА.

При этом стоит отметить, что общее время восстановления боеготовности пожарно-спасательных подразделений не должно превышать 40 минут.

Наряду с этим определён ряд показателей – критериев, имеющих негативное влия-

² Приказ МЧС России от 16 октября 2017 г. № 444 "Об утверждении Боевого устава подразделений пожарной охраны, определяющего порядок организации тушения пожаров и проведения аварийно-спасательных работ"

ние на эффективность проведения мероприятий по восстановлению боеготовности:

- K_1 – квалификация личного состава;
- K_2 – наличие специального образования;
- K_3 – сложность и напряжённость трудового процесса;
- K_4 – климатические и метеорологические факторы местности;
- K_5 – наличие технической базы;
- K_6 – частота применения техники и оборудования;
- K_7 – соответствие срока службы техники и оборудования паспорту изделия.

На основе мероприятий, а также влияющих на них показателей построена трёхуровневая иерархия их зависимости (рис. 1).

В целях определения роли критериев, имеющих негативное влияние на эффективность проведения мероприятий по восстановлению боеготовности разработаны бланки опроса экспертов, имеющих большой опыт эксплуатации и восстановления боеготовности мобильных средств пожаротушения (рис. 2). Наряду с этим, опрос предполагал выставление реальных затрат времени и количества личного состава подразделения на проведение мероприятий по восстановлению боеготовности.

Группы мероприятий были преобразованы в знаковую форму с присвоением соответствующих числовых значений (табл. 1).

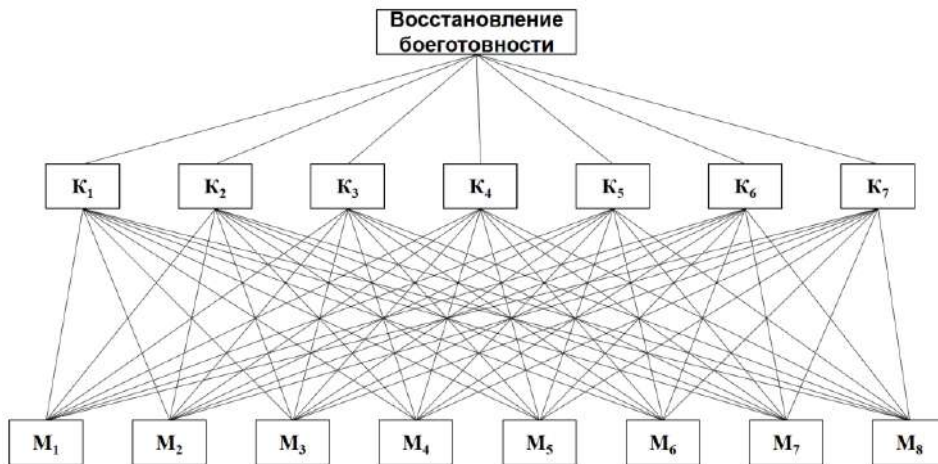


Рис. 1. Трёхуровневая иерархия зависимости мероприятий по восстановлению боеготовности мобильных средств пожаротушения в зависимости от показателей, влияющих на их эффективность

Рис. 2. Разработанные бланки опроса

Таблица 1. Перечень мероприятий по восстановлению боеготовности³

№ п/п	Наименование мероприятия	Обозначение
1	Визуальный осмотр начальником караула состояния подчинённого личного состава	M ₁
2	Заправка ПА горюче-смазочными материалами	M ₂₋₁
	Заправка ПА огнетушащими веществами	M ₂₋₂
3	Замена неисправного пожарного оборудования	M ₃₋₁
	Замена средств индивидуальной защиты пожарных и самоспасания пожарных	M ₃₋₂
	Замена пожарного инструмента	M ₃₋₃
	Замена средств спасения людей	M ₃₋₄
	Замена средств связи	M ₃₋₅
	Замена обмундирования (боевой одежды, формы одежды)	M ₃₋₆
	Замена промокших пожарных рукавов	M ₃₋₇
	Сушка промокших пожарных рукавов	M ₃₋₈
4	Техническое обслуживание ПА	M ₄
5	Заправка воздушных (кислородных) баллонов СИЗОД	M ₅₋₁
	Замена воздушных (кислородных) баллонов СИЗОД	M ₅₋₂
6	Зарядка аккумуляторных батарей средств связи и освещения	M ₆
7	Укладка боевой одежды и снаряжения на стеллажи	M ₇
8	Мойка ПА	M ₈

Данный аспект позволил разработать модель (рис. 3) и алгоритм (рис. 4) проведения мероприятий по восстановлению боеготовности мобильных средств пожаротушения, которые представлены далее. С целью построения более точной модели восстановления боеготовности, некоторые мероприятия были декомпозированы на составные части и представлены с соответствующими пометками.

В результате построения детальной модели восстановления боеготовности мобильных средств пожаротушения при возвра-

щении в ПСП после тушения пожара в условиях низких температур определён порядок реализации мероприятий из которого следует, что значительная часть работ может осуществляться параллельно. При этом стоит отметить, что эффективность их реализации напрямую зависит от численности личного состава караула (дежурной смены) подразделения.

Теоретической ценностью представленной модели проведения мероприятий по восстановлению боеготовности является алгоритм проведения работ (рис. 4).

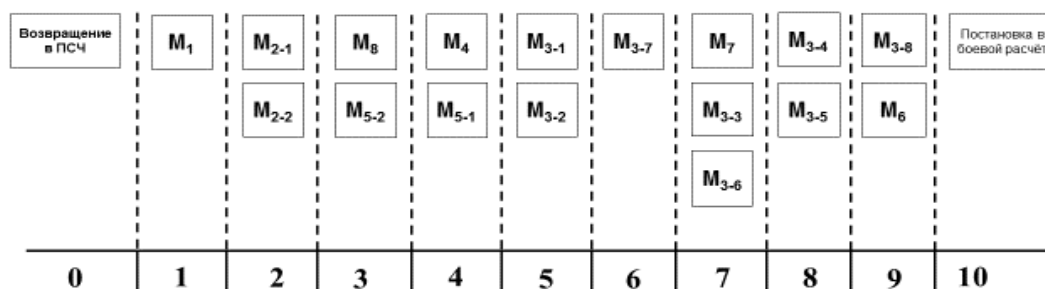


Рис. 3. Модель восстановления боеготовности мобильных средств пожаротушения при возвращении в пожарно-спасательное подразделение после тушения пожара в условиях низких температур

³ Приказ МЧС России от 16 октября 2017 г. № 444 "Об утверждении Боевого устава подразделений пожарной охраны, определяющего порядок организации тушения пожаров и проведения аварийно-спасательных работ"

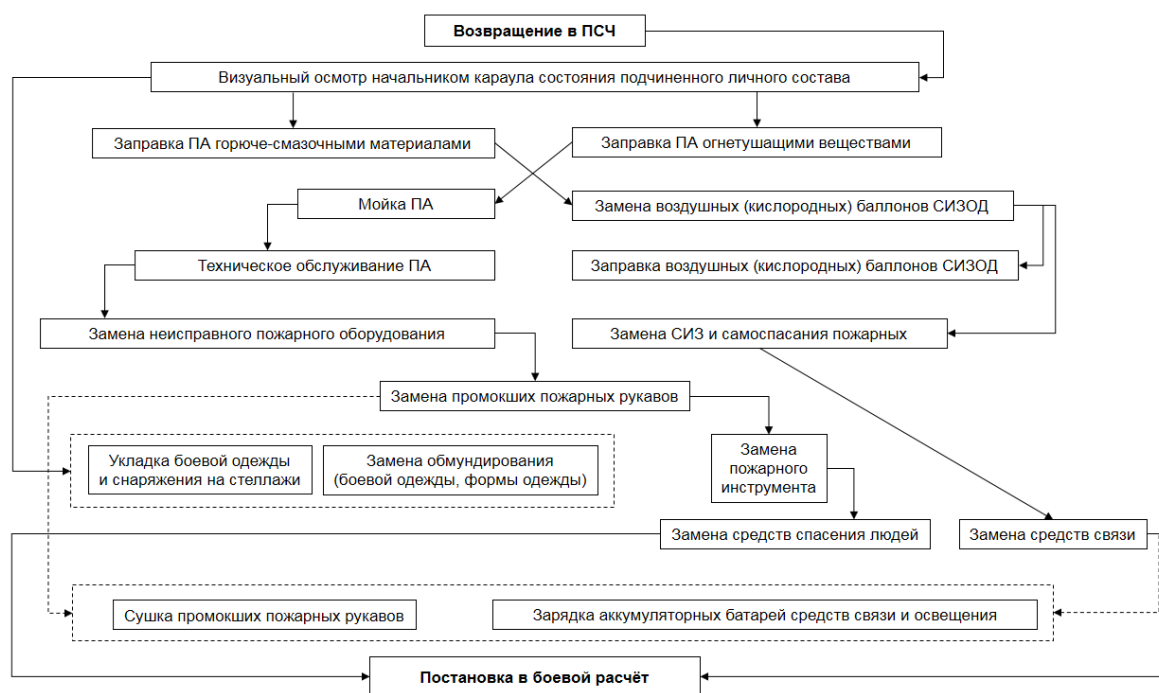


Рис. 4. Алгоритм проведения работ по восстановлению боеготовности

Мероприятия по восстановлению боеготовности мобильных средств пожаротушения начинаются с момента возвращения караула (дежурной смены) в ПСП³⁸. В зависимости от численности личного состава подразделения производится следующий алгоритм действий. Изначально происходит визуальный осмотр начальником караула состояния подчинённого личного состава, который позволяет выявить их травмирование, а также повреждения боевой одежды. По результатам визуального осмотра начальник караула распределяет количество личного состава по нескольким направлениям: автомобиль; пожарное оборудование; средства защиты. Отдельными блоками выделяется укладка боевой одежды пожарного и её замена. Наряду с этим можно выделить заправку воздушных (кислородных) баллонов СИЗОД, а также сушку пожарных рукавов с зарядкой средств связи, т.к. данные мероприятия занимают значительное время и не могут быть учтены при определении времени восстановления боеготовности. После выполнения указанных мероприятий подразделение возвращается в боевой расчёт пожарно-спасательного гарнизона.

В рамках выполнения второго этапа была сформирована экспертная группа и проведён опрос по оценке восстановления боевой готовности мобильных средств пожаротушения после тушения пожаров в условиях низких температур.

Результатом опроса является широкий спектр данных по эксплуатации мобильных средств пожаротушения, а также количества времени и ресурсов, затрачиваемых на восстановление их боеготовности (рис. 5-7).

При анализе данных диаграммы (рис. 5) можно заключить, что существенное количество времени затрачивается на сушку промокших пожарных рукавов, техническое обслуживание ПА, а также заправку воздушных (кислородных) баллонов СИЗОД.

Следует отметить, что при построении гистограммы (рис. 6) не учитывались показатели времени реализации таких мероприятий, как сушка пожарных рукавов, а также техническое обслуживание ПА, т.к., по результатам проведения экспертного опроса, данные мероприятия требуют значительного времени выполнения.

³⁸ Приказ МЧС России от 16 октября 2017 г. № 444 "Об утверждении Боевого устава подразделений пожарной охраны, определяющего порядок организации тушения пожаров и проведения аварийно-спасательных работ"

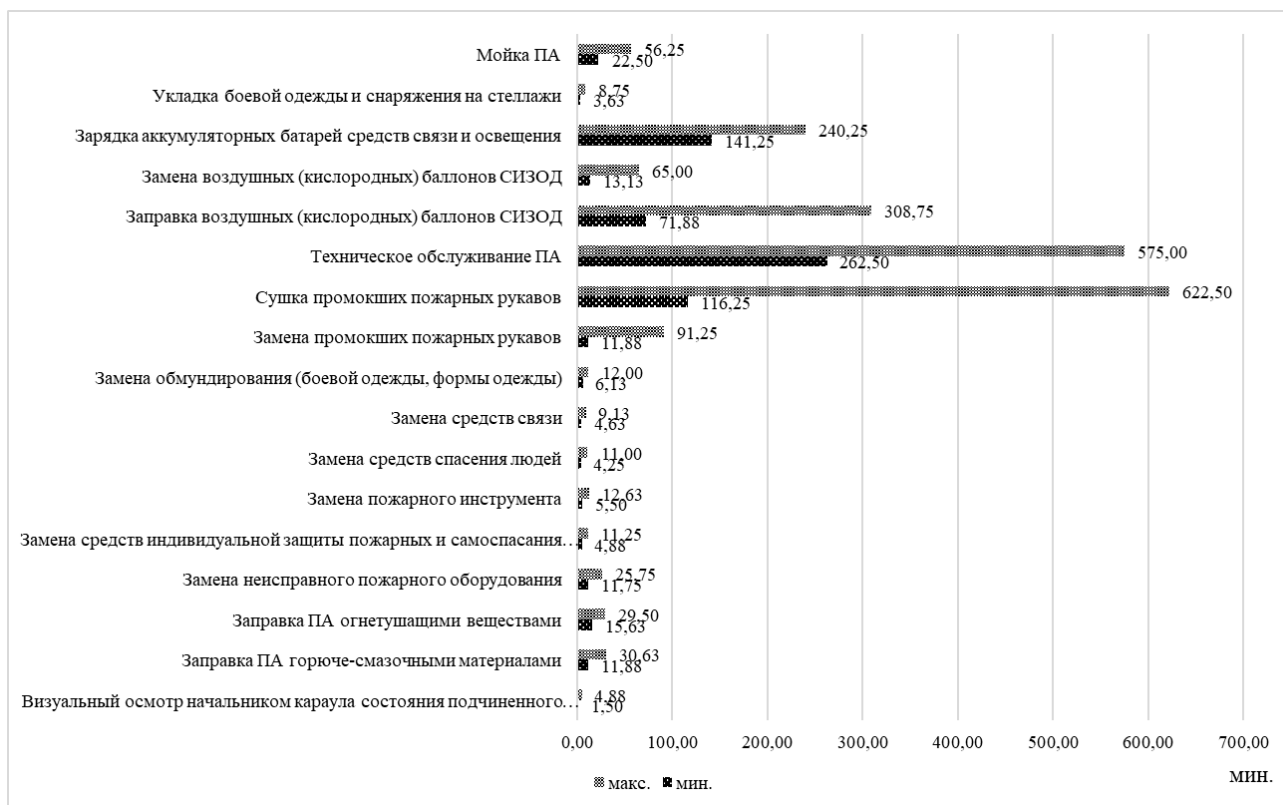


Рис. 5. Столбиковая диаграмма времени восстановления боеготовности в зависимости от проводимых мероприятий

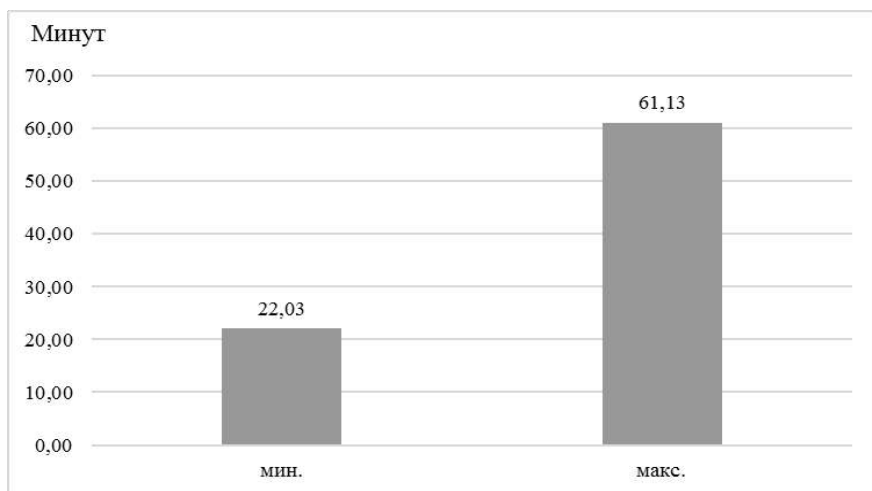


Рис. 6. Гистограмма усреднённого значения времени восстановления боеготовности мобильных средств пожаротушения

Из рис. 7 следует, что большая часть мероприятий по восстановлению боеготовности требует задействованности двух и более человек личного состава. С учётом данных рис. 5 можно утверждать, что время восстановления боеготовности мобильных средств

пожаротушения напрямую зависит от численности личного состава дежурного караула.

Наряду с этим, были определены мероприятия и показатели – критерии, которые имеют наибольшее влияние на общую эффективность восстановления боеготовности подразделения (табл. 2) [8, 9].

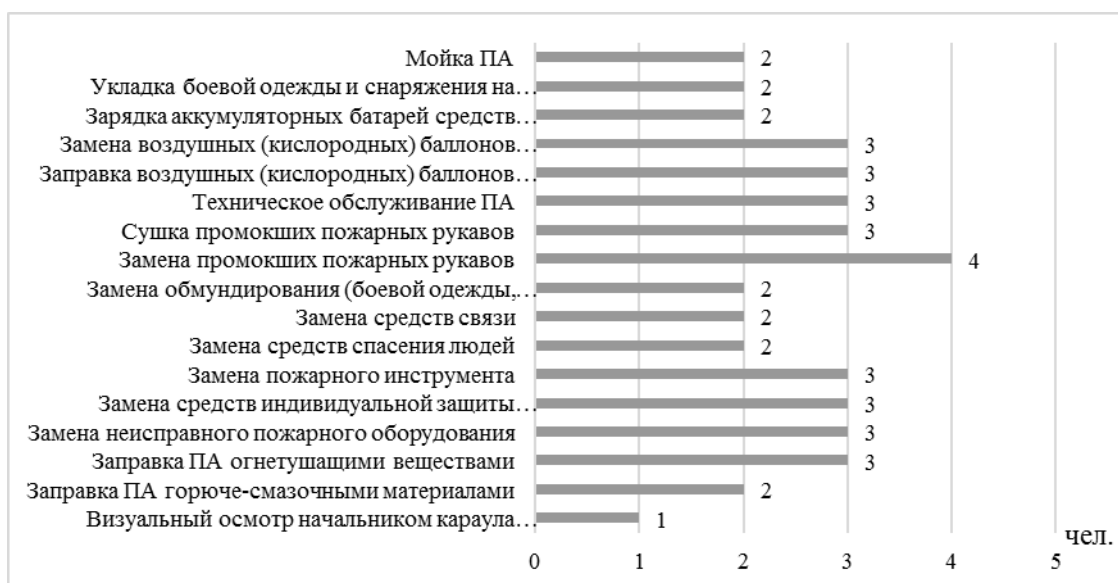


Рис. 7. Гистограмма средних значений численности личного состава в зависимости от проводимого мероприятия по восстановлению боеготовности

Таблица 2. Итоговые значения приоритетов

	K ₁	K ₂	K ₃	K ₄	K ₅	K ₆	K ₇	Итоговое значение приоритета
M ₁	0,33	0,22	0,04	0,04	0,04	0,07	0,08	0,093
M ₂	0,05	0,09	0,15	0,04	0,04	0,15	0,08	0,076
M ₃	0,05	0,10	0,05	0,05	0,08	0,17	0,08	0,079
M ₄	0,05	0,04	0,03	0,05	0,04	0,12	0,08	0,061
M ₅	0,05	0,04	0,07	0,06	0,03	0,19	0,08	0,074
M ₆	0,05	0,04	0,06	0,13	0,03	0,22	0,08	0,092
M ₇	0,40	0,22	0,21	0,32	0,34	0,04	0,08	0,227
M ₈	0,05	0,24	0,38	0,30	0,39	0,03	0,42	0,299
ОИС	0,063							
ООС	0,048							

Таким образом, из табл. 2 следует, что при проведении мероприятий по восстановлению боеготовности мобильных средств пожаротушения наибольшее негативное влияние на восстановление боеготовности подразделения оказывает показатель-критерий K₄ – климатические и метеорологические факторы местности (табл. 1). При этом, по результатам проведённого экспертного опроса, наиболее трудоёмким мероприятием по восстановлению боеготовности является M₈ – мойка ПА. Достоверность полученных результатов подкреплена расчётом обобщённого индекса согласования (составляет 0,06 %) и обобщённого отношения согласованности (0,04 %), которые не превышают порог 10 % значения. Что подтверждает адекватность полученных векторов приоритетности.

Таким образом, в ходе исследования был определён ряд факторов, существенно влияющих на время восстановления боеготов-

ности мобильных средств пожаротушения и получены следующие результаты:

Определены 8 групп мероприятий, выполнение которых составляет процесс восстановления боеготовности мобильных средств пожаротушения. Группирование и алгоритмизация реализации данных мероприятий позволит существенно сократить затраты времени на их выполнение.

Наряду с этим выявлено, что наиболее трудозатратным мероприятием в Усинском пожарно-спасательном гарнизоне является мойка ПА. В ходе опроса личного состава определено, что на своевременное выполнение данного мероприятия, на данный момент, влияют: отсутствие бокса для мойки ПА, а также отсутствие специализированного оборудования для мойки. Данное обстоятельство в значительной мере влияет на общее время восстановления боеготовности мобильных средств пожаротушения.

Также, одним из немаловажных элементов восстановления боеготовности является наличие нескольких комплектов боевой одежды пожарного (БОП). В качестве предложения по повышению уровня восстановления боеготовности в рамках вопроса БОП, предлагается рассмотреть вопрос по оснащению личного состава подразделений, задействованного в боевых действиях по тушению пожара, дополнительным комплектом БОП.

Сгенерированы показатели – критерии, оказывающие негативное влияние на процесс восстановления боеготовности мобильных средств пожаротушения, которые составили 7 наименований. В результате проведённого опроса экспертной группы было выявлено, что наибольшее влияние на процесс восстановления боеготовности оказывают К4 – климатические и метеорологические факторы местности, а также К7 – соответствие срока службы техники и оборудования паспорту изделия.

Разработанная модель и алгоритм проведения мероприятий по восстановлению

боеготовности мобильных средств пожаротушения, позволяют представить данные процессы в графической форме, что позволяет прогнозировать и оценивать результативность проводимых работ с возможностью вариации исходных данных. В качестве предложения по данному направлению предлагается дальнейшее изучение данных процессов с точки зрения вероятности одновременного выполнения проводимых мероприятий с целью повышения эффективности процесса восстановления боеготовности мобильных средств пожаротушения.

Определено, что среднее время восстановления боеготовности мобильных средств пожаротушения увеличивается на 10–30 %, что в значительной мере определяется природно-климатическими особенностями региона (сильный мороз и ветер), а также надёжности мобильных средств пожаротушения.

Список литературы

1. Выбор конструкционного материала пожарной соединительной головки с крепёжным элементом к напорному пожарному рукаву / И. В. Сараев, А. Д. Семенов, А. Г. Бубнов [и др.] // Современные проблемы гражданской защиты. 2023. № 1 (46). С. 128–135.

2. Семенов А. Д., Сараев И. В., Бубнов А. Г. О возможности заправки пенобака пожарного автомобиля с использованием стационарного вакуумного насоса // Современные проблемы гражданской защиты. 2022. № 2 (43). С. 100–106.

3. Обслуживание пожарных напорных рукавов диаметром более 150 мм в полевых условиях / А. Д. Семенов, А. Г. Бубнов, И. В. Сараев [и др.] // Современные проблемы гражданской защиты. 2022. № 4 (45). С. 107–115.

4. Сараев И. В., Семенов А. Д. Разработка конструкции устройства для крепления соединительной головки к напорному пожарному рукаву // Современные проблемы гражданской защиты. 2021. № 4 (41). С. 111–116.

5. Харламов Р. И., Семенов А. Д., Сараев И. В. Дополнительное устройство для повышения функциональных возможностей ручных пожарных стволов РС-50 (РС-70) // Современные проблемы гражданской защиты. 2020. № 3 (36). С. 136–141.

6. Семенов А. Д., Бочкарев А. Н., Кнутов М. С. Влияние способа заправки пенобака на время приведения пожарного автомобиля в

готовность после пожара // Современные проблемы гражданской защиты. 2020. № 4 (37). С. 143–149.

7. Семенов А. Д., Бубнов А. Г., Бочкарев А. Н. Повышение технической готовности гидравлического аварийно-спасательного инструмента при эксплуатации // Современные проблемы гражданской защиты. 2019. № 2 (31). С. 75–82.

8. Саати Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий. М.: Радио и связь, 1993. 278 с.

9. Сараев И. В., Бубнов А. Г. Методика обоснования выбора и совершенствования технического оснащения подразделений МЧС России для ликвидации чрезвычайных ситуаций на транспорте // Научно-аналитический журнал «Вестник Санкт-Петербургского университета Государственной противопожарной службы МЧС России». 2017. № 2. С. 15–20.

References

1. Vybor konstruksionnogo materiala pozharnoy soyedinitel'noy golovki s krepozhnym elementom k napornomu pozharnomu rukavu [The choice of structural material of a fire connecting head with a fastener to a pressure fire hose] / I. V. Sarayev, A. D. Semenov, A. G. Bubnov [et al.]. *Sovremennyye problemy grazhdanskoy zashchity*, 2023, vol. 1 (46), pp. 128–135.

2. Semenov A. D., Sarayev I. V., Bubnov A. G. O vozmozhnosti zapravki penobaka pozharnogo avtomobilya s ispol'zovaniyem

statsionarnogo vakuumnogo nasosa [On the possibility of filling the foam tank of a fire truck using a stationary vacuum pump]. *Sovremennyye problemy grazhdanskoj zashchity*, 2022, vol. 2 (43), pp. 100–106.

3. Obsluzhivaniye pozharnykh napornykh rukavov diametrom boleye 150 mm v polevykh usloviyakh [Maintenance of fire pressure hoses with a diameter of more than 150 mm in the field] / A. D. Semenov, A. G. Bubnov, I. V. Sarayev, [et al.]. *Sovremennyye problemy grazhdanskoj zashchity*, 2022, vol. 4 (45), pp. 107–115.

4. Sarayev I. V., Semenov A. D. Razrabotka konstruktsii ustroystva dlya krepleniya soyedinitel'noy golovki k napornomu pozharnomu rukavu [Development of the design of a device for attaching a connecting head to a pressure fire hose]. *Sovremennyye problemy grazhdanskoj zashchity*, 2021, vol. 4 (41), pp. 111–116.

5. Kharlamov R. I., Semenov A. D., Sarayev I. V. Dopolnitel'noye ustroystvo dlya povysheniya funktsional'nykh vozmozhnostey ruchnykh pozharnykh stvolov RS-50 (RS-70) [Additional device for increasing the functionality of manual fire nozzles RS-50 (RS-70)]. *Sovremennyye problemy grazhdanskoj zashchity*, 2020, vol. 3 (36), pp. 136–141.

6. Semenov A. D., Bochkarev A. N., Knutov M. S. Vliyaniye sposoba zapravki penobaka

na vremya privedeniya pozharnogo avtomobilya v gotovnost' posle pozhara [Influence of the method of filling the foam tank on the time of bringing the fire truck to readiness after a fire]. *Sovremennyye problemy grazhdanskoj zashchity*, 2020, vol. 4 (37), pp. 143–149.

7. Semenov A. D., Bubnov A. G., Bochkarev A. N. Povysheniye tekhnicheskoy gotovnosti gidravlicheskogo avariyno-spasatel'nogo instrumenta pri ekspluatatsii [Improving the technical readiness of the hydraulic rescue tool during operation]. *Sovremennyye problemy grazhdanskoj zashchity*, 2019, vol. 2 (31), pp. 75–82.

8. Saati T. *Prinyatiye resheniy. Metod analiza iyerarkhiy* [Decision making. Hierarchy analysis method]. Moscow: Radio i svyaz', 1993. 278 p.

9. Sarayev I. V., Bubnov A. G. Metodika obosnovaniya vybora i sovershenstvovaniya tekhnicheskogo osnashcheniya podrazdeleniy MCHS Rossii dlya likvidatsii chrezvychaynykh situatsiy na transporte [Methodology for substantiating the choice and improvement of the technical equipment of the subdivisions of the Ministry of Emergency Situations of Russia for the elimination of emergency situations in transport]. *Nauchno-analiticheskiy zhurnal «Vestnik Sankt-Peterburgskogo universiteta Gosudarstvennoy protivopozharnoy sluzhby MCHS Rossii»*. 2017. issue 2, pp. 15–20.

Сараев Иван Витальевич

Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,

Российская Федерация, г. Иваново

Кандидат технических наук, старший преподаватель

E-mail: saraev-i-v@mail.ru

Saraev Ivan Vitalevitch

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

Russian Federation, Ivanovo

Candidate of Technical Sciences, Senior Lecturer

E-mail: saraev-i-v@mail.ru

Семенов Андрей Дмитриевич

Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,

Российская Федерация, г. Иваново

Кандидат технических наук, начальник кафедры

E-mail: sad8_3@mail.ru,

Semenov Andrey Dmitrievich

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

Russian Federation, Ivanovo

Candidate of technical sciences, Head of department

E-mail: sad8_3@mail.ru.

Бочкарёв Артём Николаевич

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

Старший преподаватель

E-mail: artem_bochkarev_82@bk.ru

Bochkarev Artyom Nikolaevich

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

Senior Lecturer

E-mail: artem_bochkarev_82@bk.ru

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

УДК 691.12

**ОСОБЕННОСТИ ПОЛУЧЕНИЯ ЛЕГКИХ БЕТОНОВ
НА ОРГАНИЧЕСКИХ ЗАПОЛНИТЕЛЯХ**

М. В. АКУЛОВА¹, Н. С. ГОЛУБЕВ², А. И. РУДОЙ², Н. К. КАСАТКИНА²

¹ Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,
Российская Федерация, г. Иваново,

² Ивановский государственный политехнический университет
Российская Федерация, г. Иваново

E-mail: m_akulova@mail.ru, nikita230998@mail.ru

В результате пожара может произойти обрушение конструкций, как при тушении, так и при последующей эксплуатации здания или сооружения. В России существуют действующие нормы пожарной безопасности относительно расстояний между домами в поселках, деревнях и других населенных пунктах. Эти расстояния и сами пожарные характеристики домов и материалов отражены в ФЗ от 22 июля 2008 г. № 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности». В статье представлен подбор состава формовочной смеси для производства строительных блоков повышенной пожарной безопасности на основе минерального вяжущего и органического заполнителя. Установлено, что стебли технической конопли и мискантуса сорта «Камис» имеют хорошие показатели армирования стройматериалов, они прочные и не превращаются в солому при измельчении. Для изготовления прочного блока на органическом заполнителе потребуется 70 % костры технической конопли или измельченного стебля мискантуса от общего объема строительного материала. Также рассмотрены свойства изделий, их характеристики и рекомендации по пожарной безопасности.

Ключевые слова: легкие бетоны, строительный материал, органический заполнитель, пожарная безопасность,

FEATURES OF OBTAINING LIGHT CONCRETE ON ORGANIC AGGREGATES

M. V. AKULOVA¹, N. S. GOLUBEV², A. I. RUDOY², N. K. KASATKINA²

Federal State Budget Educational Establishment of Higher Education

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

Russian Federation, Ivanovo

Federal State Budget Educational Institution of Higher Education «Ivanovo State Polytechnic University»,

Russian Federation, Ivanovo

E-mail: m_akulova@mail.ru, nikita230998@mail.ru

As a result of a fire, structures can collapse, both during extinguishing and during the subsequent operation of a building or structure. In Russia, there are current fire safety standards regarding the distances between houses in towns, villages and other settlements. These distances and the fire characteristics of houses and materials themselves are reflected in Federal Law of July 22, 2008 № 123-FZ "Technical regulations on fire safety requirements", GOST 30403-96 "Building structures. The article presents the selection of the composition of the molding mixture for the production of building blocks of increased fire safety based on mineral binder and organic aggregate. It has been established that the stems of industrial hemp and miscanthus variety "Kamis" have good reinforcement of building materials, they are durable and do not turn into straw when crushed. For the manufacture of a durable block on organic aggregate, 70 % of the fire of industrial hemp or a crushed miscanthus stalk from the total volume of building material will be required. The properties of products, their characteristics and recommendations for fire safety are also considered.

Key words: fire safety, building material, lightweight concrete, organic filler.

Блок из технической конопли – разновидность арболита, в котором в качестве органического наполнителя выступают одревесневшие части стеблей сельскохозяйственной конопли, благодаря чему такой бетон обладает высокими прочностными характеристиками [1]. На сегодняшний день существует несколько разновидностей растения, а культивируемые сорта были известны в еще в X веке. Конопля в царской России была одной из основных сельскохозяйственных культур. Из нее делали одежду, обувь, лекарства и бумагу. В 30-х годах прошлого века СССР занимал первое место в мире по площади посевов конопли, а пика выращивания конопли в СССР достигло в начале второй половины 20 века. Тогда СССР выращивал до 80 % всей конопли в мире. Сейчас сельскохозяйственная культура набирает популярность в строительстве – блок из технической конопли экологически чистый и теплый материал.

Строительный блок из конопли стал массовым строительным материалом в Европе. Конопляная отрасль в строительстве набирает популярность в США, Канаде, Австралии. Отмечается, что стоимость этого материал на 20 % ниже, чем у арболита из древесных опилок, так как стебли технической конопли являются отходами сельского хозяйства. Блок на основе костры прочен и полностью пригоден для малоэтажного строительства.

Ивановская область занимает первое место в России по посевам технической конопли. Более 2 тыс. гектаров в 2022 году, и число посевов растет с каждым сезоном. По данным РБК в 2023 году культивирование данного растения может войти в число отраслей-драйверов по развитию экономики страны [2].

Производство легких бетонов на данном наполнителе является перспективным направлением в строительной отрасли. На рис. 1 изображен блок на органическом наполнителе из технической конопли.



Рис. 1. Блок из костры технической конопли

Целью данной работы являлась разработка и исследование составов формовочной смеси для производства легких бетонов на особых органических заполнителях Ивановской области.

Для изготовления материала из технической конопли влажную костру измельчали на отрезки длиной в 15–20 мм — не превышая 30 мм, шириной в 10 мм и толщиной в 3–4 мм. Для минерализации костры, удаления вредных для цемента сахаров, полисахаридов, а также для ускорения отверждения смеси в готовый раствор добавляется хлористый кальций, жидкое стекло, реже серная кислота. Для приготовления смеси для формования, в отдельной ёмкости смешивали сухие компоненты – цемент, песок, гипс или известь. Затем в смесь добавляли подготовленную костру и тщательно перемешивали. Полученную смесь заливали в формы и прессовали на вибростанке [2].

Как и любой строительный материал, блок из технической конопли имеет свои преимущества:

- за счет легких органических компонентов вес блока небольшой, поэтому можно не делать фундамент с высокой несущей способностью – достаточно ленточного или свайного;

- блоки распиливают простой ножовкой, хотя это удобнее и быстрее делать бензопилой. В такие стены легко забивать гвозди, закручивать саморезы;

- пористая структура, обеспечивающая его высокую адгезию со штукатурными смесями;

- в умеренном климате для создания несущих стен можно применять блоки размером 500x300x200 мм. С учетом внешней и внутренней отделки, толщина стен становится достаточной, чтобы поддерживать в здании комфортную температуру. Конструкционные элементы имеют теплопроводность 0,12–0,19 Вт/(м °С), а теплоизоляционные – 0,07–0,1 Вт/(м °С) [3];

- дышащий стройматериал, его паропроницаемость составляет 35 %, что дает возможность создавать в доме комфортный микроклимат зимой и летом.

Согласно ГОСТ Р 54854-2011 по огнестойкости, блок на основе органического наполнителя из технической конопли имеет следующие параметры:

- Группа горючести Г1. К ней относятся слабогорючие материалы, которые не горят при отсутствии источника огня. При этом повреждения по длине, причинённые огнём, не превышают 65 %, а полное уничтожение не может достигать больше, чем 20 %. Из этого следует, что кострбетон трудногорючий мате-

риал, дом из него не сгорит до прибытия пожарных подразделений.

- Группа воспламеняемости – В1. При определении к какой группе относится тот или иной строительный материал, на него в течение 15 минут воздействуют высокой температурой, и фиксируют, когда материал воспламенится. Костробетон трудновоспламеняемый материал, он выдерживает до 4 часов температуру до 1500 градусов по Цельсию.

- По дымообразующей способности – Д1. Такой материал, если даже начнёт тлеть (при достижении определенной температуры), не будет выделять опасные продукты горения.

Техническая конопля является самым прочным и длинным растительным волокном из всех существующих. Она устойчива к истиранию и гниению. Так как костра из технической конопля не так легко воспламеняется в отличие от дерева или соломы, то её также можно рекомендовать в качестве органического заполнителя для стройматериалов с хорошей степенью пожаробезопасности. В производстве блоков наполнитель из технической конопля находится в цементной рубашке, поэтому качественные изделия относятся к группе – слабогорючие [8].

В данной работе также был подобран состав на основе другого растения – мискантуса. Рассмотрим легкие бетоны с заполнителем из мискантуса сорта «Камис». Упомянутый сорт растения выведен специально для наших климатических условий рискованного земледелия. Это довольно высокое, 180–250 сантиметров, прямостоячее, прочное растение, по своей структуре, напоминающее бамбук. Пока-

затели урожайности у него очень хорошие. Средняя урожайность составляет 7 тонн с гектара, при этом она будет постепенно увеличиваться.

В качестве армирования и для придания теплоизоляционных свойств материалу в строительную смесь добавляли в качестве заполнителя мискантус в рубленном виде 6-12 мм в длину, в ширину 3-5 мм и в толщину 1-2 мм (рис. 2).



Рис. 2. Рубленный мискантус сорта «Камис» фракции 3x2x12

На кафедре Архитектуры и строительных материалов Ивановского государственного политехнического университета был подобран состав для теплоизоляционного конструкционного легкого бетона. В табл. 1 указан состав смеси для производства 1 м³ строительного материала на органическом заполнителе из мискантуса.

Таблица 1. Сырьевые компоненты на 1 м³ легкого бетона на заполнителе из мискантуса

Наименование компонента	Количество, кг
Цемент марки 500	650
Песок (промытый, сухой) ГОСТ для производства бетона	1512
Заполнитель (мискантус сорта «Камис»)	50
Гипс	16
Добавка CemStone, л	17
Добавка CaCl ₂	4
Вода, л	350

Наилучшие характеристики бетона получались при применении песка крупной либо средней фракции, способного создать прочный скелет, воспринимающий нагрузки, при формировании и транспортировки блоков на участок сушки. В основную массу песка крупной фракции 3.2 МК рекомендуется добавлять песок средней или мелкой фракции 2.5–1.5 МК. Смесь песка крупных и мелких фракций идеальный материал для приготовления жестких

смесей. Однако в песчаной смеси доля мелкого песка не должна превышать 10 %. В противном случае резко снижается прочность строительных материалов на таком песке. При выборе песка следует руководствоваться требованиями ГОСТ 8736-2014.

Строительный материал из мискантуса, технической конопля – легкий бетон, получаемый подбором состава смеси из органического заполнителя растительного происхождения,

минерального вяжущего, воды и химических добавок. Особенность блоков по сравнению с такими аналогичными изделиями, как фибролит, деревобетон и другими, состоит в том, что для его получения пригодна более широкая

номенклатура. На рис. 3 изображён блок на органическом заполнителе из мискантуса с его преимуществами над аналогичными строительными материалами.



Рис. 3. Преимущества легких бетонов на органических заполнителях

Важнейшей характеристикой легких бетонов на органических заполнителях, как и любых строительных материалов, является предел прочности при сжатии. Предел прочности при сжатии для теплоизоляционных блоков от М5 до М20 включительно, для конструкционного – М25 и более.

Рассмотрим основные конкурентные преимущества данного строительного материала:

1. Из легких бетонов на органических заполнителях можно строить малоэтажные дома, бани, коттеджи, складские помещения. Ближайший аналог нашему материалу, арболит из древесных опилок, который зарекомендовал себя при строительстве зданий в Антарктиде, а также на морских побережьях, в средней полосе Российской Федерации и в Сибири.

2. Строительные материалы на органических заполнителях совмещают в себе наилучшие достоинства дерева и прочность бетона. Они экологичны, имеют наименьший выброс углекислого газа в окружающую среду. Сооружения из таких блоков «дышат» благодаря пористой структуре и растительному армированию.

3. Блоки на органических заполнителях из технической конопли имеют хорошие тепло-

изоляционные показатели, которые лучше, чем у керамзитобетона в 4 раза, и в 7 раз, чем у силикатного кирпича. В доме из такого строительного материала комфортно жить в любое время года, прохладно летом и тепло зимой.

4. Легкие бетоны на органических заполнителях довольно прочные, когда нагрузка на несущую стену превышает максимально допустимую, не происходит растрескивания блоков (эта проблема характерна для бетона, пенобетонных блоков, полнотелого кирпича и газобетонных блоков). За счёт растительного заполнителя материал способен выдерживать нагрузку на изгиб. Желательно строить дома из легкого бетона марки от М25–М50. Чем прочнее произведенный блок на органических заполнителях, тем ниже его теплотехнические показатели.

5. Стены, из блоков на органическом заполнителе имеют высокий коэффициент звукопоглощения, диапазон может составлять 0.15–0.65 для частот звука 125–2000 Гц. К примеру, для кирпичных стен характерен коэффициент звукопоглощения в 0.04 при 1000 Гц, а у стен из дерева данное соотношение составляет 0.06–0.16.

6. Вес строительного материала с наполнителем из мискантуса сорта «камис» составляет 10 кг, и он растет в зависимости от

выбранного состава. При строительстве дома из легкого бетона на органическом заполнителе можно использовать более легкие фундаменты, чем при строительстве объекта из того же кирпича или бетона. Материал легкий, поэтому возникает существенная экономия на фундаменте будущего дома, а также на межэтажных перекрытиях.

7. Блоки на основе технической конопли и мискантуса, в отличие от дерева, не горят, не гниют, не подвержены поражению грибом, благодаря цементной оболочке и специальным добавкам. Кроме растительных компонентов в состав строительного материала входят портландцемент, связующие химического происхождения, известь. Так как щепу мискантуса или костру технической конопли минерализуют, применяя химические добавки, то заполнитель для блоков получается более твердый и

плотный. Вредителям (грызунам) не нравится такое «лакомство», они лучше перебегут в дом из дерева, чем будут грызть силикатную пропитку.

8. Легкие бетоны на органических заполнителях легко пилятся обычной ручной пилой. Строительный материал хорошо держит гвозди, саморезы. При этом, не требует предварительного сверления, или обработки.

9. Дома, построенные в Азии и в северных районах России из аналогичных материалов (арболитов) по-прежнему стоят и служат людям, хотя возведены они были ещё в 60-х годах [4].

Важнейшей характеристикой легких бетонов на органических заполнителях являются их теплоизоляционные свойства, для сохранения тепла в будущем доме (табл. 2).

Таблица 2. Сравнение строительных материалов по теплотехническим показателям

Название	Теплопроводность, Вт/м К	Плотность, кг/м ³
Блок на органическом заполнителе из технической конопли	От 0,07 до 0,17	От 400 до 850
Пенобетонный блок	От 0,1 до 0,38	От 100 до 1200
Газобетонный блок	От 0,14 до 0,30	От 400 до 800
Керамзитобетон	От 0,50 до 0,72	От 900 до 1200
Пустотелый керамический кирпич	От 0,34 до 0,48	От 1000 до 1800
Полнотелый керамический кирпич	От 0,6 до 0,88	От 1600 до 1950
Шлакобетон	От 0,30 до 0,58	От 750 до 1600

Для строительства небольшого одноэтажного дома или бани из легкого бетона на органических заполнителях потребуются блоки плотностью 500 кг/м³. При возведении двухэтажного коттеджа потребуются более прочные материалы плотностью не менее 700 кг/м³.

Конструкции плотностью менее 500 кг/м³ не способны нести несущую нагрузку, поэтому они относятся к теплоизоляционным. Строители нашли применение для таких органических, теплых блоков, они заполняют пространство между несущими элементами каркасного дома.

К недостаткам легких блоков на органических заполнителях можно отнести нестабильное качество продукции, связанное с особенностями производства. Легкий бетон на органических заполнителях впитывает влагу. Так,

не рекомендуется использовать блоки в тесном контакте с землей, например, в качестве фундамента. Для того чтобы снизить влагопоглощение несущих стен, построенных из таких блоков, их необходимо защищать от внешней среды штукатурным или отделочными материалами [5].

Любые растения имеют в своей структуре простые сахара, так называемые полисахариды. Они мешают измельченному стеблю технической конопли, мискантуса и другого органического наполнителя связываться с цементным тестом. Для решения данного аспекта применяются добавки, которые нейтрализуют сахара и делают блоки более прочными. В табл. 3 исследовано влияние воды с простыми сахарами на свойства цементного теста.

Таблица 3. Исследование зависимости свойств арболита от присутствия в воде растворенных веществ

Состав	Начало схватывания	Предел прочности при изгибе, МПа	Предел прочности при сжатии, МПа	Плотность, кг/м ³
С водопроводной водой	2 ч. 19 мин	0.0028	0.045	2098
С водной вытяжкой мискантуса	2 ч. 22 мин	0.0027	0.039	2156

Как видно из табл. 3 в водной вытяжке через 2 дня появились полисахариды, но их влияние на физико-механические характеристики бетонного камня меньше, чем в вытяжках из древесины.

Поэтому в данной работе была изменена технология приготовления формовочной смеси. CaCl₂ добавляли непосредственно в воду затворения перед формованием вместо предварительного вымачивания мискантуса в растворе хлористого кальция в течение нескольких суток. Это позволяет ускорить и автоматизировать процесс изготовления легкого бетона с добавлением органических наполнителей и в последствии перейти к литевой технологии формования.

Заключение:

1. Предложен комплексный состав строительной смеси для производства теплоизоляционно-конструкционного легкого бетона на органическом заполнителе из мискантуса марки М35 и выше, который внедрен в практическую деятельность Ивановского государственного политехнического университета, связанную с исследованием повреждений бетонных конструкций в результате высоких термических воздействий.

2. Рассмотрены показатели пожарной безопасности блоков с наполнителем из мискантуса и технической конопля, которые удовлетворяют современным требованиям ГОСТ

и СНиП и могут рекомендоваться для малоэтажного строительства.

3. Проведен сравнительный анализ основных характеристик и преимуществ легких бетонов на органическом заполнителе из мискантуса. Представлена оценка теплотехнических показателей блока на основе технической конопля с ближайшими аналогами на рынке стройматериалов.

4. Исследовано влияние воды с содержанием простых сахаров на свойства цементного теста и прочность строительных материалов.

5. Полученные данные позволяют в дальнейшем оценить положительные аспекты и риски применения легких бетонов на органических заполнителях в гражданском и промышленном строительстве. Простота производства блоков и получения результата является перспективным импортозамещающим направлением, так как получаемый материал имеет хорошие экологические, физические и физико-механические свойства и малую пожарную опасность.

Работа выполнялась в рамках научно-исследовательской работы ФГБОУ ВО ИВГПУ. Впервые разработан состав несущих блоков на органическом заполнителе на основе мискантуса с рекомендациями по дальнейшему использованию в строительной отрасли.

Список литературы

1. Голубев Н. С., Акулова М. В., Касаткина Н. К. Технология производства отечественного строительного материала из технической конопля // Молодые ученые – развитию Национальной технологической инициативы (ПОИСК). 2022. № 1. С. 132–134.

2. Гасников А. М. Применение костры технической конопля для производства арболита // Наука в исследованиях молодежи, 2016. Стр. 80-82.

3. Наназашвили И. Х. Строительные материалы из древесно-цементной компози-

ции. 2-е изд, перераб. и доп. Л.: Стройиздат, 1990. 415 с.

4. Наназашвили И. Х. Справочник по производству и применению арболита. М.: Стройиздат, 1987. 208 с.

5. Отливанчик А. Н., Маев Е. Д. Технология производства арболита // Сельское строительство. 1964. № 9. С. 5–8.

6. Иванова А. А. Голубев Н. С., Акулова М. В. Повышение эффективности цементных вяжущих с использованием кремнесодержащего модификатора // Молодые ученые – развитию Национальной технологической инициативы (ПОИСК). 2022. №1. С. 170-172.

References

1. Golubev N. S., Akulova M. V., Kasatkina N. K. Tekhnologiya proizvodstva otechestvennogo stroitel'nogo materiala iz tekhnicheskoy konopli [Technology of production of domestic construction material from technical hemp]. *Molodyye uchenyye – razvitiyu Natsional'noy tekhnologicheskoy initsiativy (POISK)*, 2022, vol. 1, pp. 132–134.

2. Gasnikov A. M. Primeneniye kostry tekhnicheskoy konopli dlya proizvodstva arbolita [The use of technical hemp bonfires for the production of arbolite]. *Nauka v issledovaniyakh molodezhi*, 2016, pp. 80–82.

3. Nanazashvili I. H. *Stroitel'nyye materialy iz drevesno-tsementnoy kompozitsii. 2-ye izd, pererab. i dop.* [Building materials from wood-

cement composition 2nd ed., reprint. and additional]. L.: Stroyizdat, 1990. 415 p.

4. Nanazashvili I. H. *Spravochnik po proizvodstvu i primeneniyu arbolita* [Handbook on the production and use of arbolite]. Moscow: Stroyizdat, 1987, 208 p.

5. Otlivanchik A. N., Mayev E. D. Tekhnologiya proizvodstva arbolita [Arbolite production technology]. *Sel'skoye stroitel'stvo*, 1964, vol. 9, pp. 5–8.

6. Ivanova A. A. Golubev N. S., Akulova M. V. Povysheniye effektivnosti tsementnykh vyazhushchikh s ispol'zovaniyem kremnesoderzhashchego modifikatora [Improving the efficiency of cement binders using a silicon-containing modifier]. *Molodyye uchenyye – razvitiyu Natsional'noy tekhnologicheskoy initsiativy (POISK)*, 2022, vol. 1, pp. 170–172.

Акулова Марина Владимировна

Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,

Российская Федерация, г. Иваново

Доктор технических наук, профессор

E-mail: m_akulova@mail.ru

Akulova Marina Vladimirovna

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

Russian Federation, Ivanovo

Doctor of Technical Sciences, Professor

E-mail: m_akulova@mail.ru

Голубев Никита Сергеевич

Ивановский государственный политехнический университет «ФГБОУ ВО ИВГПУ»,

Российская Федерация, г. Иваново

Аспирант

Email: nikita230998@mail.ru

Golubev Nikita Sergeevich

Ivanovo State Polytechnic University «FGBOU VO IVSPU»,

Russian Federation, Ivanovo

postgraduate student

Email: nikita230998@mail.ru

Рудой Александр Иванович

Ивановский государственный политехнический университет «ФГБОУ ВО ИВГПУ»,

Российская Федерация, г. Иваново

Магистрант

Email: sysatk@gmail.com

Rudoy Aleksandr Ivanovich

Ivanovo State Polytechnic University «FGBOU VO IVSPU»,

Russian Federation, Ivanovo

Master's student

Email: sysatk@gmail.com

Касаткина Наталья Константиновна

Ивановский государственный политехнический университет «ФГБОУ ВО ИВГПУ»,
Российская Федерация, г. Иваново

доцент

Email: natkonst_15@mail.ru

Golubev Nikita Sergeevich

Ivanovo State Polytechnic University "FGBOU VO IVSPU",
Russian Federation, Ivanovo

assistant professor

Email natkonst_15@mail.ru

УДК 691:539,5

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ УВЕЛИЧЕНИЯ ПРОЧНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СТАЛИ С ЦЕЛЬЮ ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Т. В. ПАШКОВА^{1,2}, А. А. КРАСНОВ¹

¹ Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,
Российская Федерация, г. Иваново

² ФГБОУ ВО «Ивановский государственный университет»,
Российская Федерация, г. Иваново

E-mail: pashtavi@yandex.ru, krasnow.a.a@mail.ru

При выборе сталей для строительных металлических конструкций уровень прочностных свойств является определяющим. Термическая обработка сталей позволяет существенно увеличить эксплуатационные характеристики. В работе исследуется влияние различных способов термической обработки стали 45 на ее прочностные свойства. Объектами исследования являлись образцы стали 45, подвергнутые различным видам термической обработки, а именно: закалка на воздухе, закалка на воздухе + высокий отпуск, закалка в воде + высокий отпуск, отжиг 20 минут. Анализировалась микроструктура обработанных образцов, их микротвердость и связанные с ней прочностные характеристики. В ходе проведенных исследований установлено, что, во-первых, все применяемые виды термической обработки приводят к мелкодисперсной структуре стали 45 (размер зерна уменьшается на один, два порядка); во-вторых, в ходе обработки не происходит структуризации зерен перлита в исследуемых образцах стали, зерна перлита имеют произвольную форму, как до, так и после обработки образцов; в-третьих, изменение микроструктуры стали 45 (измельчение зерен перлита) приводит к увеличению прочностных характеристик: твердости, предела прочности и предела текучести; в-четвертых, закалка на воздухе позволяет получить образец стали с наилучшими прочностными параметрами.

Ключевые слова: стали, термическая обработка, микроструктура, прочностные характеристики

INVESTIGATION OF THE POSSIBILITY OF INCREASING THE STRENGTH CHARACTERISTICS OF STEEL IN ORDER TO INCREASE THE RELIABILITY OF BUILDING STRUCTURES

T. V. PASHKOVA^{1,2}, A. A. KRASNOV¹

¹ Federal State Budget Educational Establishment of Higher Education
«Ivanovo Fire Rescue Academy of State Firefighting Service of Ministry of Russian Federation
for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters»,
Russian Federation, Ivanovo

² Federal State Educational Institution of Higher Education «Ivanovo State University»
Russian Federation, Ivanovo

E-mail: pashtavi@yandex.ru, krasnow.a.a@mail.ru

When choosing steels for building metal structures, the level of strength properties is decisive. Heat treatment of steels can significantly increase the performance characteristics. The paper investigates the influence of various methods of heat treatment of steel 45 on its strength properties. The objects of the study were 45 steel samples subjected to various types of heat treatment, namely: air quenching, air quenching + high tempering, water quenching + high tempering, annealing for 20 minutes. The microstructure of the processed samples, their microhardness and related strength characteristics were analyzed. In the course of the conducted studies, it was found that, firstly, all the types of heat treatment used lead to a fine structure of steel 45 (grain size decreases by one, two orders of magnitude); secondly, during processing, there is no structuring of perlite grains in the steel samples under study, perlite grains have an arbitrary shape, as before, so it is after processing the samples; thirdly, a change in the microstructure of steel 45 (grinding of perlite grains) leads to an increase in strength characteristics: hardness, tensile strength and yield strength; fourth, air hardening allows you to obtain a steel sample with the best strength parameters.

Key words: steels, heat treatment, microstructure, strength characteristics

В настоящее время в строительстве широко используют стали при изготовлении различных строительных конструкций, их элементов, а также оборудования и приспособлений для строительных работ. Металлические конструкции обладают рядом преимуществ. Во-первых, они обладают высокой несущей способностью, что позволяет им воспринимать огромные нагрузки при относительно небольших сечениях благодаря прочности металла. Во-вторых, такие конструкции отличаются высокой надежностью, т.к. их можно рассчитывать с высокой точностью. В-третьих, металлические конструкции легкие и транспортабельные, что делает их наиболее удобными и экономичными для транспортировки и монтажа. Они почти в 4 раза легче железобетонных и часто легче деревянных, что особенно важно для больших конструкций. Также важно отметить сплошность материала и соединений, что обеспечивает водо- и газонепроницаемость конструкций. Наконец, металлические конструкции удобны в эксплуатации, т.к. легко усиливаются при увеличении нагрузок и легко ремонтируются, что делает их наиболее актуальным выбором для реконструкций. Наконец, использование сталей на 12–15 % удешевляет строительные конструкции, [1–3].

Среди главных требований, которым должна отвечать строительная сталь – прочность, свариваемость, пластичность и другие показатели, регламентируемые соответствующими нормативами. При выборе сталей для строительных металлических конструкций ключевым фактором является уровень прочностных свойств, поскольку для большинства существующих конструкций единственным доступным к измерению показателем механических свойств является твердость, так как выбор проб и образцов для лабораторных исследований является практически невозможным. Поэтому метод твердометрии является основным методом при анализе фактического состояния конструкций, что важно и для оценки безопасности работы строительных конструкций.

Одной из важнейших характеристик сталей является их углеродистость. С увеличением процентного содержания углерода в сплаве растет его твердость и некоторые другие важные свойства, но одновременно повышается склонность к хрупкому разрушению и снижается свариваемость. Сталь 45 относится к классу конструкционных углеродистых качественных сталей с феррито-перлитной структурой. Благодаря своим механическим свойствам, она находит широкое применение в

различных областях. Кроме того, данная марка характеризуется доступной ценой.

Известно, что термическая обработка сталей повышает их прочностные свойства, что увеличивает срок службы деталей. Так, сталь 45 очень часто подвергается закалке, за счет которой заметно повышается твердость поверхности. В данной работе исследовалось влияние различных способов термической обработки стали 45 на ее прочностные характеристики.

Результаты и обсуждение

Объектами исследования являлись образцы стали 45, подвергнутые различным видам термической обработки, а именно: закалка на воздухе, закалка на воздухе + высокий отпуск, закалка в воде + высокий отпуск, отжиг 20 минут. Анализировалась микроструктура обработанных образцов, их микротвердость и связанные с ней прочностные характеристики. Для исследования микроструктуры образцов использовался металлографический микроскоп IM 7000. Оценка размера зерна образцов стали проводилась методом средней длины пересекающего зерна отрезка d на плоских сечениях образцов

$$d = \frac{l}{n}, \quad (1)$$

где l – общая длина секущей линии, n – число зерен, попавших на линию.

Оценку микротвердости (HV) проводили на микротвердометре FM-800. Использовали метод вдавливания в испытуемый материал алмазного наконечника Виккерса с квадратным основанием четырехгранной пирамиды, [5-7]. Для расчета прочностных характеристик (предел прочности σ_b и предел текучести σ_0) использованы следующие соотношения [8]

$$HV = 3,16\sigma_b, \quad (2)$$

$$HV = 3,62\sigma_0, \quad (3).$$

Микрофотографии образцов стали после термической обработки представлены на рис. 1. Из полученных фотографий оценивался средний размер перлитного зерна. Как видно на фотографии исходного образца сталь является крупнозернистой, зерна перлита которой имеют произвольную форму. Все образцы, которые подвергались термической обработке, оказываются мелкодисперсными. Средние размеры зерен в образцах приведены в табл.

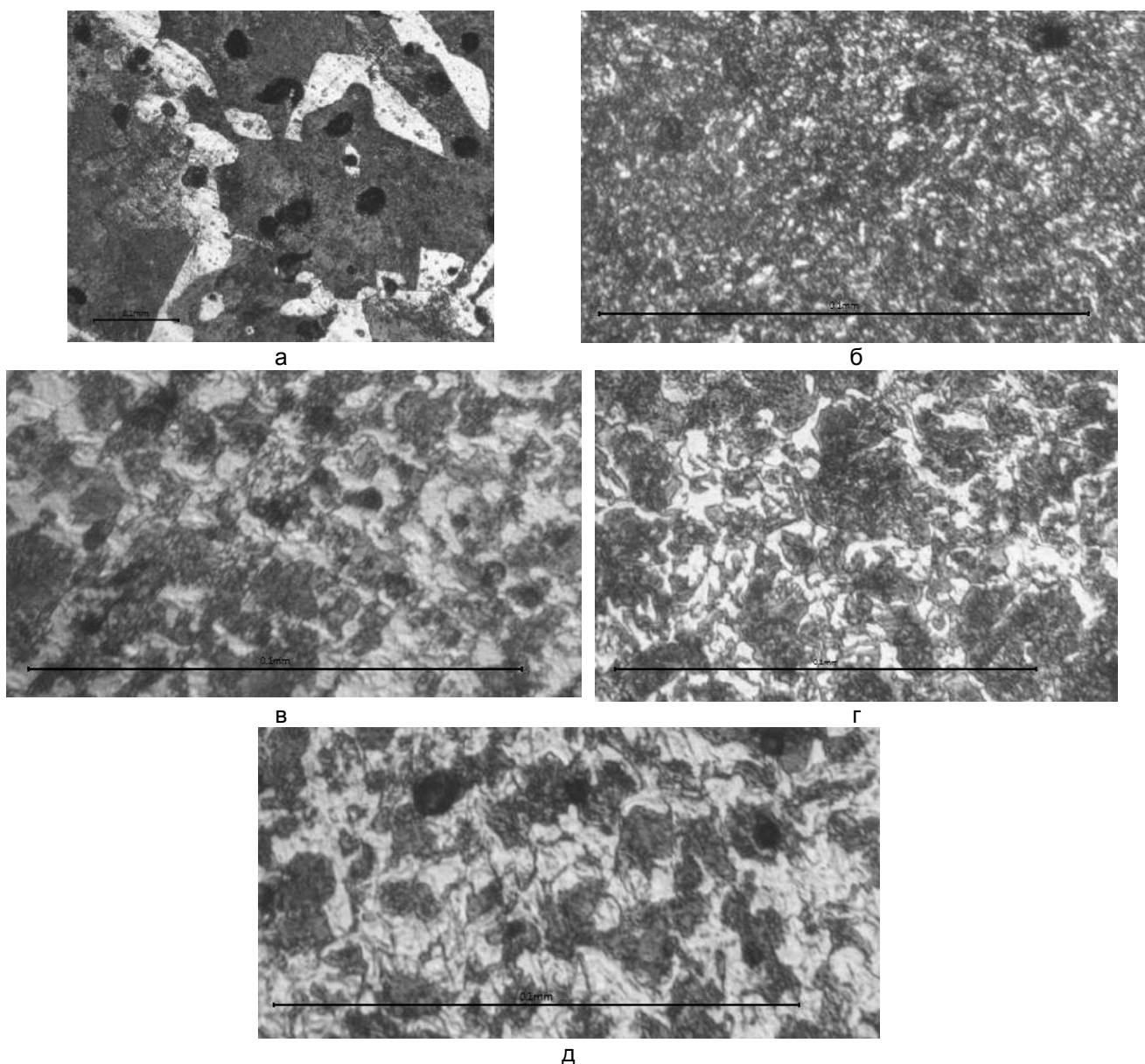


Рис. 1. Микрофотографии образцов стали 45:
 а – исходный образец (увеличение 10х), б – после закалки на воздухе (увеличение 50х),
 в – после закалки на воздухе + высокий отпуск (увеличение 50х),
 г – после закалки в воде + высокий отпуск (увеличение 50х),
 д – после отжига в течение 20 минут (увеличение 50х).

Любой вид термической обработки, закалка, отжиг, приводит к измельчению зерен перлита. Как видно из приведенных в таблице расчетов, после термической обработки происходит уменьшение размера зерна на один - два порядка. При этом самую мелкодисперсную структуру имеет образец, подвергнутый закалке на воздухе. Такие виды термической обработки, как отжиг, а также закалка на воздухе плюс высокий отпуск, в нашем случае дают структуру с примерно одинаковым размером зерна. При этом форма зерен перлита

остается неправильной.

Известно, что сталь с очень тонкими выделениями цементита, диспергированными в феррите, отличается более высокими твердостью и прочностью по сравнению со сталью такого же состава, но с более грубой фазовой структурой [3]. Подобная закономерность наблюдается и для анализируемых образцов стали 45, таблица, рис. 2. Действительно, любой вид обработки увеличивает твердость HV с 1526,8 МПа до 2992,6 МПа. Аналогичным образом ведут себя и другие прочностные харак-

теристики, величины которых приведены в таблице. При этом наименьшее увеличение твердости достигается для образца, подвергнутого закалке в воде и высокому отпуску. Образец после закалки на воздухе, имеющий самую мелкодисперсную структуру, обладает и наибольшей твердостью. При всех остальных

способах обработки образцы стали имеют близкие значения твердости и пределов прочности и текучести.

Погрешность измерений размеров зерен составляет 0,001 мм, твердости – 0,1 МПа. Погрешности расчета пределов прочности и текучести – 0,1 МПа.

Таблица. Размер зерен перлита в структуре стали и твердость исследуемых образцов стали

	Исходный образец	Закалка на воздухе	Закалка на воздухе + высокий отпуск	Закалка в воде + высокий отпуск	Отжиг 20 мин.
Размер зерен перлита d, мм	0,195	0,0086	0,013	0,014	0,011
Твердость, МПа	1526,8	2992,6	2142,7	1847,5	2144,7
Предел прочности σ_b , МПа	483,2	947,0	678,1	584,7	678,7
Предел текучести σ_0 , МПа	421,7	826,7	591,9	510,4	595,5

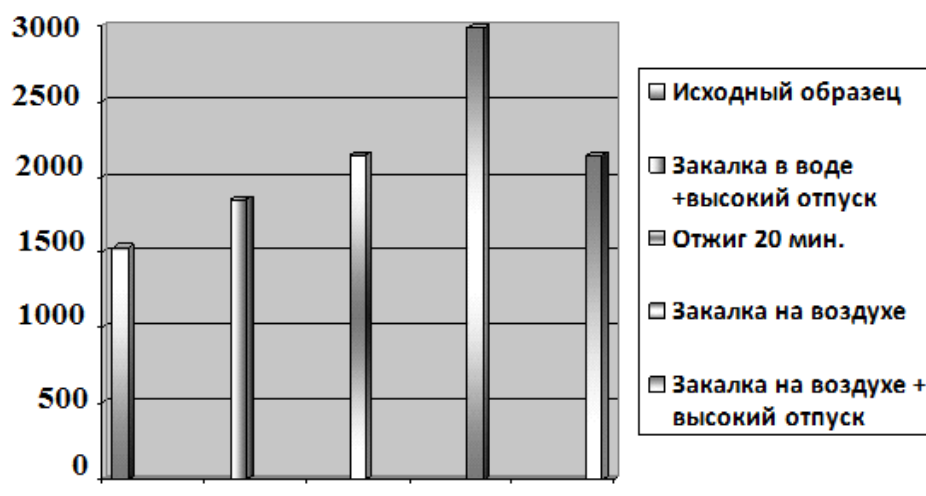


Рис. 2. Диаграмма твердости образцов стали после обработки

Заключение

Таким образом, в ходе проведенных исследований установлено, что

– все применяемые виды термической обработки приводят к мелкодисперсной структуре стали 45 (размер зерна уменьшается на один, два порядка);

– в ходе обработки не происходит структуризации зерен перлита в исследуемых образцах стали, зерна перлита имеют произ-

вольную форму как до, так и после обработки образцов;

– изменение микроструктуры стали 45 (измельчение зерен перлита) приводит к увеличению прочностных характеристик: твердости, предела прочности и предела текучести;

– закалка на воздухе позволяет получить образец стали с наилучшими прочностными параметрами.

Список литературы

1. Арзамасова Б. Н., Мухина Г. Г. *Материаловедение*. М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2001. 646 с.
2. Лившиц Б. Г. *Металлография*. М.: Metallurgiya, 1990. 236 с.
3. Л. Ван Флек. *Теоретическое и прикладное материаловедение*. М.: Атомиздат, 1975. 473 с.
4. Улыбин А. В. О выборе методов контроля прочности бетона построенных сооружений // *Инженерно-строительный журнал*. 2011. № 4 (22). С. 10–15.
5. Дрозд М. С. *Определение механических свойств металла без разрушения*. М.: Metallurgiya, 1965. 71 с.
6. Хомич В. М. Экспериментальное исследование взаимосвязи предела текучести и некоторых чисел твердости строительных сталей // *Известия вузов. Строительство*. 1999. № 11. С. 133–137
7. Оценка фактических параметров металла технических объектов нефтегазового комплекса / Л. А. Ефименко, О. А. Коновалова, В. П. Камардинин [и др.] // *Химическое и нефтегазовое машиностроение*. 1999. № 4. С. 35–36.
8. Методы исследования материалов / Л. И. Тушинский, А. В. Плохов, А. О. Токарев [и др.]. М: Мир, 2004. 161 с.

References

1. Arzamasova B. N., Mukhina G. G. *Ma-*

terialovedenie [Materials Science]. Moscow: Izd-vo MGTU im. N. E. Bauman, 2001. 646 p.

2. Livshits B. G. *Metallografiya* [Metallography]. Moscow: Metallurgiya, 1990. 236 p.

3. L. Van Fleck. *Teoretitheskoe I prikladnoe materialovedenie* [Theoretical and applied materials science]. Moscow: Atomizdat, 1975. 473 p.

4. Ulybin A. V. O vibore metodov kontrol-ya prochnosti betona postroennih sooruzenii [On the choice of methods for controlling the strength of concrete constructed structures]. *Inzenernostroitel'nyy zhurnal*, 2011, issue 4 (22), pp. 10–15.

5. Drozd M. S. *Opređenje mehanitheskikh svoistv metalla bez razrusenia* [Determination of mechanical properties of metal without destruction]. M.: Metallurgiya, 1965. 171 p.

6. Khomich V. M. Eksperimentalnoe issledovanie vzaimosvyazi predela tekuthesti I nekotorykh thisel tverdosti stroitel'nykh staley [Experimental study of the relationship between the yield strength and some hardness numbers of building steels]. *Izvestia vuzov. Stroitel'stvo*, 1999, issue 11, pp.133–137.

7. Ozenka faktitheskikh parametrov metalla tehnikeskikh obektov neftegazovogo kompleksa [Assessment of actual metal parameters of technical objects of the oil and gas complex] / L. A. Efimenko, O. A. Konovalova, V. P. Komardin [et al.]. *Himitheskoe I neftegasovoe masi-nostroenie*, 1999, issue 4, pp. 35–36.

8. *Metodi issledovania materialov* [Methods of materials research] / L. I. Tusinskii, A. V. Plohov, A. O. Tokarev [et al.]. M: Mir, 2004. 161 p.

Пашкова Тамара Викторовна

Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,

Российская Федерация, г. Иваново

кандидат физико-математических наук, профессор кафедры естественнонаучных дисциплин

ФГБОУ ВО «Ивановский государственный университет»,

Российская Федерация, г. Иваново

Доцент кафедры фундаментальной физики и нанотехнологий

E-mail: pashtavi@yandex.ru

Pashkova Tamara Viktorovna

Federal State Budget Educational Establishment of Higher Education «Ivanovo Fire Rescue Academy

of State Firefighting Service of Ministry of Russian Federation for Civil Defense, Emergencies

and Elimination of Consequences of Natural Disasters»,

Russian Federation, Ivanovo,

candidate of Physical and Mathematical Sciences, Professor of the Department of Natural Sciences

Federal State Educational Institution of Higher Education «Ivanovo State University»

Russian Federation, Ivanovo

associate Professor of the Department of Fundamental Physics and Nanotechnology

E-mail: pashtavi@yandex.ru

Краснов Александр Алексеевич

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

доктор технических наук, профессор

E-mail: krasnow.a.a@mail.ru

Krasnov Alexandr Alekseevith

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

Russian Federation, Ivanovo

doctor of Technical Sciences, professor

E-mail: krasnow.a.a@mail.ru

УДК 669.1:66.018.8:66.018.8

ВЛИЯНИЕ ДОБАВОК НИТРАТОВ НА ИНТЕНСИВНОСТЬ МАССООБМЕННЫХ КОРРОЗИОННЫХ ПРОЦЕССОВ В ЦЕМЕНТНОМ КАМНЕ БЕТОНА ПРИ ХЛОРИДНОЙ КОРРОЗИИ

В. Е. РУМЯНЦЕВА^{1,2}, В. С. КОНОВАЛОВА², Б. Е. НАРМАНИЯ³, Т. В. ФРОЛОВА¹

¹ Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,
Российская Федерация, г. Иваново

² ФГБОУ ВО Ивановский государственный политехнический университет,
Российская Федерация, г. Иваново

³ ФГБОУ ВО Национальный исследовательский
Московский государственный строительный университет,
Российская Федерация, г. Москва

E-mail: varrym@gmail.com, kotprotiv@yandex.ru, borisfablee@gmail.com, frolovatanja@mail.ru

В статье приведены результаты исследования влияния добавок в цементный камень бетона нитратов щелочных и щелочно-земельных металлов на интенсивность массообменных процессов, протекающих при коррозии в сильноагрессивной жидкой хлоридсодержащей среде. При изготовлении образцов цементного камня из портландцемента марки ЦЕМ I 42,5 Н в цементную смесь вводились добавки нитратов металлов в количестве 0,5 % от массы цемента. Исследование массообменных процессов в цементном камне проводилось в 2 %-ом растворе $MgCl_2$. При введении в цементную смесь на стадии изготовления бетона добавок нитратов щелочных или щелочно-земельных металлов скорость массообменных коррозионных процессов снижается в 1,5 раза. Установлено, что ингибиторы незначительно влияют на изменение прочности цементного камня бетона при хлоридной коррозии. Определены показатели массопереноса (коэффициенты массопроводности и массоотдачи, плотности потока переносимых компонентов) и рассчитаны периоды достижения предельной концентрации хлорид-ионов у поверхности стальной арматуры в бетоне при коррозии в 2 %-ом растворе $MgCl_2$. Для достижения такой концентрации хлорид-ионов у поверхности стальной арматуры в бетоне без ингибирующей добавки понадобится 174 суток, в бетоне с 0,5 % добавкой KNO_3 – 260 суток.

Ключевые слова: коррозия бетона, массоперенос, массообмен, кинетика массопереноса, ингибитор коррозии, ингибирование коррозии, хлоридная коррозия.

THE EFFECT OF NITRATE ADDITIVES ON THE INTENSITY OF MASS TRANSFER CORROSION PROCESSES IN CONCRETE CEMENT STONE DURING CHLORIDE CORROSION

V. E. RUMYANTSEVA^{1,2}, V. S. KONOVALOVA², B. E. NARMANIYA³, T. V. FROLOVA¹

¹ Federal State Budget Educational Establishment of Higher Education
«Ivanovo Fire Rescue Academy of State Firefighting Service of Ministry of Russian Federation
for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters»,
Russian Federation, Ivanovo

² Federal State Budget Educational Establishment of Higher Education
«Ivanovo State Polytechnic University»,
Russian Federation, Ivanovo

³ Federal State Budget Educational Establishment of Higher Education
«Moscow State University of Civil Engineering (National Research University)»,
Russian Federation, Moscow

E-mail: varrym@gmail.com, kotprotiv@yandex.ru, borisfablee@gmail.com, frolovatanja@mail.ru

The article presents the results of a study of the effect of alkaline and alkaline-earth metal nitrates added to concrete cement stone on the intensity of mass transfer processes occurring during corrosion in a highly aggressive liquid chloride-containing medium. In the manufacture of cement stone samples from Portland cement of the CEM I 42.5 N brand, metal nitrate additives were introduced into the cement mixture in an amount of 0.5 % by weight of cement. The study of mass transfer processes in cement stone was carried out

in a 2 % $MgCl_2$ solution. When additives of nitrates of alkaline or alkaline-earth metals are introduced into the cement mixture at the stage of concrete production, the rate of mass transfer corrosion processes decreases by 1.5 times. It was found that inhibitors have a negligible effect on the change in the strength of concrete cement stone during chloride corrosion. The mass transfer parameters (coefficients of mass conductivity and mass transfer, the density of the flow of the transferred components) were determined and the periods of reaching the limit concentration of chloride ions at the surface of steel reinforcement in concrete during corrosion in 2 % $MgCl_2$ solution were calculated. To achieve such a concentration of chloride ions at the surface of steel reinforcement in concrete without an inhibitory additive, it will take 174 days, in concrete with 0.5 % KNO_3 additive – 260 days.

Keywords: concrete corrosion, mass transfer, kinetics of mass transfer, corrosion inhibitor, corrosion inhibition, chloride corrosion.

Введение

Повреждение железобетонных изделий обычно вызвано коррозией стальной арматуры даже в условиях эксплуатации в практически неагрессивной или слабоагрессивной среде [1–5]. Поэтому для обеспечения требуемого срока службы железобетона требуется повышать не только коррозионную стойкость бетона, но также и его способность защищать стальную арматуру в течение длительного периода. Под воздействием атмосферных условий и различных сред проницаемость бетона постепенно увеличивается [6–11]. В результате этого вода, углекислый газ и агрессивные ионы, такие как хлориды, могут проникать в бетон и оказывать вредное воздействие на стальную арматуру [12–16].

После достижения у поверхности арматуры концентрации хлорид-ионов, равной 0,4 % от массы бетона, начинаются необратимые коррозионные процессы, вызывающие растворение стали [17–21]. Накопление продуктов коррозии у поверхности арматуры приводит к увеличению внутреннего давления в железобетоне и растрескиванию бетонного покрытия [2, 17, 22, 23].

Для увеличения продолжительности периода иницирования коррозии стальной арматуры в железобетонных изделиях, эксплуатируемых в средах высокой степени агрессивности, в цементный раствор на стадии изготовления бетона вводятся специальные добавки, ингибирующие действие агрессивных частиц на бетон и арматуру в нем. Вводимые ингибиторы коррозии также могут улучшать эксплуатационные характеристики бетона, например, ускорять схватываемость и твердение, повышать прочность [24–26].

Ингибирующие добавки позволяют уменьшить проницаемость бетона для хлорид-содержащих сред и сохранить его способность к пассивации поверхности стальной арматуры при повышенном содержании хлоридов в поровой жидкости цементного камня [27, 28]. Таким образом, ингибирование коррозии способ-

но обеспечить долговечность железобетонных изделий и конструкций промышленных предприятий, морских гидротехнических сооружений, сельскохозяйственных производствах и др.

Проведение исследования влияния ингибирующих добавок на интенсивность развития коррозионных процессов в цементном камне бетона необходимо для установления закономерностей и параметров массопереноса и определения срока службы железобетона.

Материалы и методы

Образцы цементного камня были изготовлены из портландцемента ЦЕМ I 42,5 Н с водоцементным соотношением равным 0,3. В цементное тесто при замешивании вводились добавки ингибиторов в количестве 0,5 % от массы цемента. После отверждения образцов на воздухе в течение 28 суток при температуре 20 ± 2 °С, они помещались в жидкую хлоридсодержащую среду высокой степени агрессивности.

В качестве ингибирующих добавок выбраны нитраты кальция, натрия, калия, магния и цинка. Сильно агрессивной средой для цементного камня бетона служил 2 %-ый раствор $MgCl_2$.

Содержание катионов кальция в жидкой фазе устанавливали посредством прямого объемного титрования проб раствора агрессивной среды стандартным раствором трилона Б в присутствии индикатора хромогена черного.

Дериватографический анализ цементного камня проводился по стандартной методике на дериватографе Q-1500D.

Прочность определялась на образцах цементного камня с длиной грани 10 см. При испытании на сжатие образцов на прессе марки П-50 устанавливали максимальное усилие, необходимое для разрушения цементного камня, при непрерывном нарастании нагрузки.

Результаты и обсуждение

Во время выдерживания образцов цементного камня в 2 % растворе $MgCl_2$ устанавливалось содержание катионов кальция в жидкой среде. По результатам титриметрического анализа (рис. 1) видно, что на начальном этапе коррозии цементного камня в жидкой хлоридсодержащей среде высокой степени агрессивности добавки ингибиторов не значительно замедляют вывод кальцийсодержащих компонентов из структуры.

Результаты измерений прочности цементного камня с ингибирующими коррозию добавками после воздействия 2 %-ого раствора $MgCl_2$, представленные в табл. 1, показывают, что введенные в цементное тесто нитраты металлов не повлияли на прочность образцов при твердении. Снижение прочности образцов цементного камня без добавок и с добавками нитратов составило 34 и 26 % соответственно.

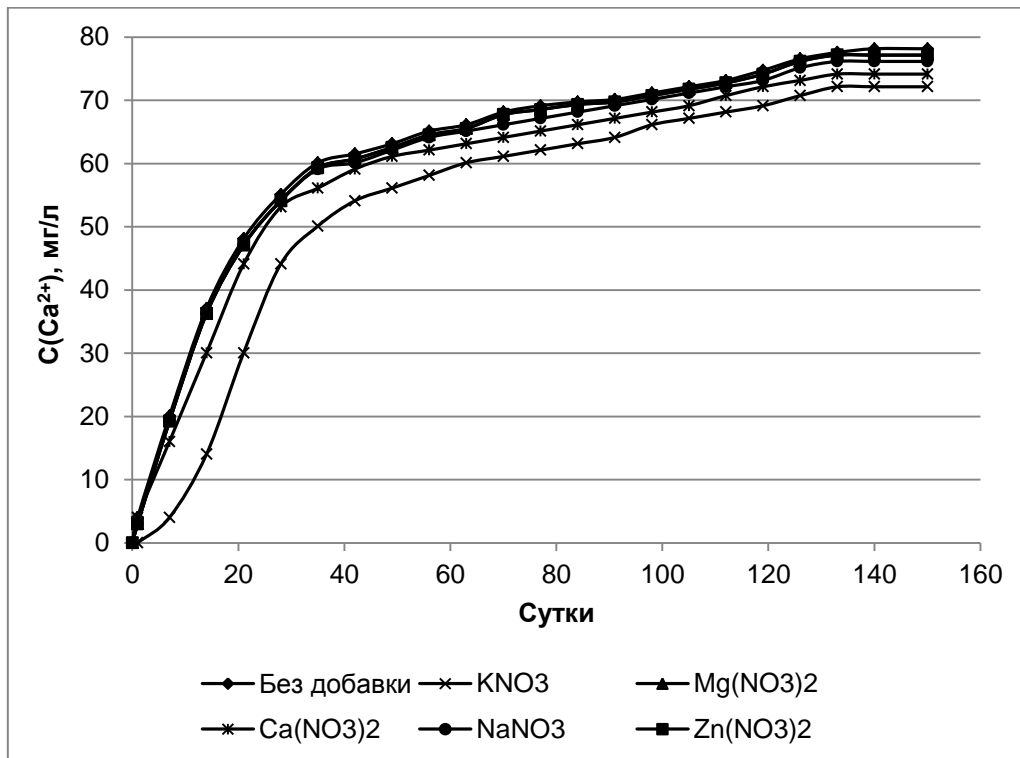


Рис. 1. Кинетические кривые содержания катионов кальция в жидкой фазе при коррозии в 2 %-ом растворе $MgCl_2$ цементного камня с добавками ингибиторов в количестве 0,5 масс. %

Таблица 1. Изменение прочности цементного камня из портландцемента марки ЦЕМ I 42,5Н с добавками ингибиторов в количестве 0,5 % от массы цемента после воздействия в течение 150 суток 2 %-ого раствора $MgCl_2$

Ингибитор	Прочность образцов до воздействия агрессивной среды, МПа	Прочность образцов после воздействия агрессивной среды, МПа
-	49,78	32,54
KNO_3	49,64	36,72
$Mg(NO_3)_2$	49,9	36,24
$Ca(NO_3)_2$	49,54	36,98
$NaNO_3$	49,47	36,65
$Zn(NO_3)_2$	49,84	36,36

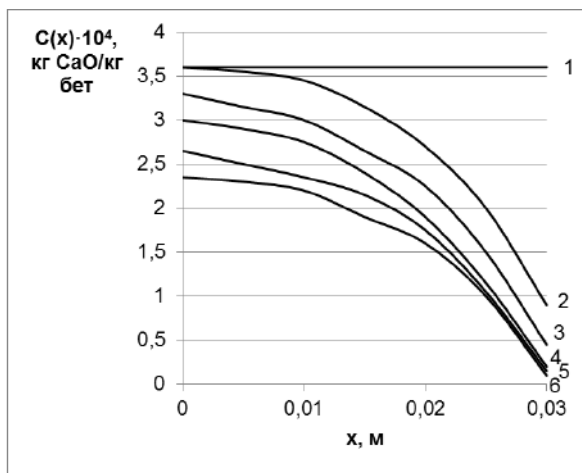
Ингибиторам коррозии требуется время для перехода из структуры цементного камня в поровую жидкость. За этот период хлорид-ионы поступают в поровой раствор, где взаимодействуют с компонентами цементного камня, вследствие чего кальцийсодержащие составляющие выводятся из структуры, о чем свидетельствуют данные изменения концентрации катионов кальция в агрессивной хлоридсодержащей среде, представленные на рис. 1.

Когда нитрат-ионы выходят из связанного состояния в структуре цементного камня и поступают в поровую жидкость, они начинают реагировать с накопившимися в ней хлорид-ионами, замедляя их проникновение вглубь поровой структуры цементного камня. По этой

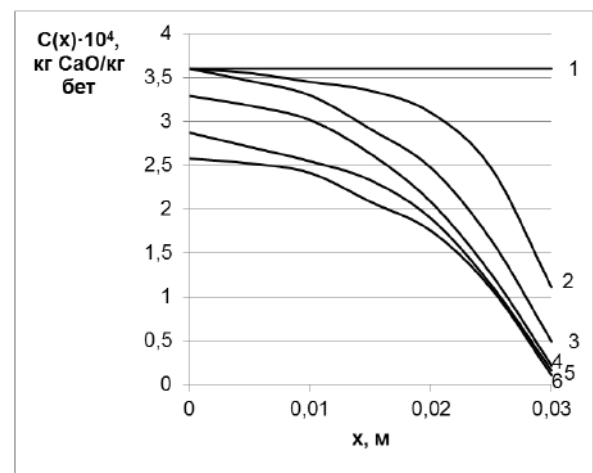
причине меньше потеря прочности у образцов цементного камня, содержащего ингибиторы коррозии.

Поскольку больший эффект на снижение вывода кальция из цементного камня оказала добавка KNO_3 , дальнейшие расчеты проводились для образцов с этим ингибитором.

С помощью дериватографического анализа установлено содержание катионов кальция в разных частях цементного камня, в результате чего были построены профили концентраций, представленные на рис. 2. К 70 суткам в системе устанавливается состояние, близкое к равновесному, при котором протекание массообменных процессов происходит при постоянных параметрах.

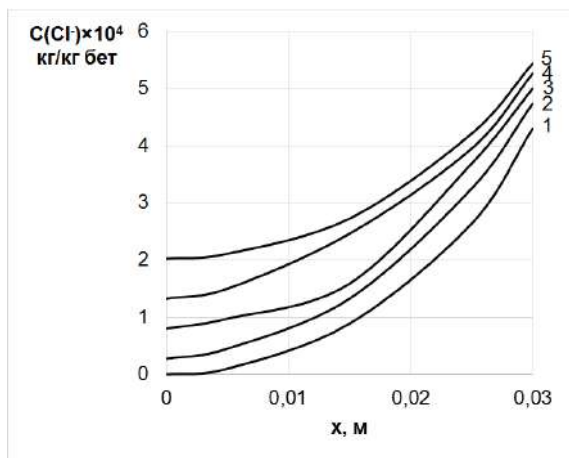


а)

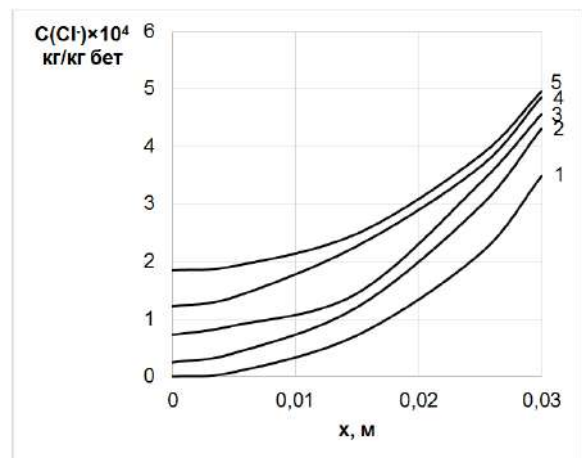


б)

Рис. 2. Профили концентраций $Ca(OH)_2$ по толщине образцов цементного камня без добавки (а) и с добавкой 0,5 % KNO_3 (б), подвергающихся воздействию 2 %-ого раствора $MgCl_2$ в течение: 1 – 0 сут; 2 – 14 сут; 3 – 28 сут; 4 – 42 сут; 5 – 56 сут; 6 – 70 сут



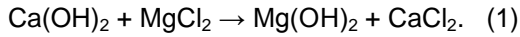
а)



б)

Рис. 3. Профили концентраций хлорид-ионов по толщине образцов цементного камня без добавки (а) и с добавкой 0,5 % KNO_3 (б), подвергающихся воздействию 2 %-ого раствора $MgCl_2$ в течение: 1 – 14 сут; 2 – 28 сут; 3 – 42 сут; 4 – 56 сут; 5 – 70 сут

По профилям концентраций «свободного $\text{Ca}(\text{OH})_2$ » проведен расчет профилей концентраций хлорид-ионов (рис. 3) по толщине цементного камня с учетом стехиометрии, протекающей в поровой жидкости химической реакции:



По профилям концентраций определяются величины градиентов концентрации переносимого компонента, используемые для расчета показателей массопереноса: коэффициентов массопроводности и массоотдачи. Коэффициент массопроводности k определяется по формуле:

$$k = \frac{q}{\rho_0 \frac{dC'}{dx}} \quad (2)$$

где: q – плотность потока массы переносимых компонентов вследствие химических реакций, $\text{кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$; ρ_0 – плотность твердой фазы, $\text{кг}/\text{м}^3$.

Плотность потока массы вещества q из цементного камня в жидкую среду рассчитывается по выражению:

$$q = \frac{\Delta C_{\text{ж}}}{S \cdot \tau}, \quad (3)$$

где: $\Delta C_{\text{ж}}$ – масса вещества, перешедшего из цементного камня в жидкую среду, кг ; S – площадь подвергающейся коррозии поверхности бетона, м^2 ; τ – время коррозии, с .

Коэффициент массоотдачи β определяется как отношение диффузионного потока q к разности концентраций ΔC , $\text{кг}/\text{м}^3$:

$$\beta = \frac{q}{\Delta C}. \quad (4)$$

Рассчитанные значения показателей массопереноса представлены на рис. 4 и рис. 5.

Значения коэффициентов массопроводности и массоотдачи изменяются по экспоненциальному закону и в случае ингибированного цементного камня имеют меньшие значения, что также свидетельствует о меньшей скорости развития и протекания коррозионных массообменных процессов и соответствует кинетическим кривым на рис. 1. Такое поведение обусловлено слабым ингибированием растворения кальцийсодержащих фаз в цементном камне под воздействием жидкой агрессивной среды [29] из-за усложнения проникновения хлорид-ионов вглубь пористой структуры цементного камня.

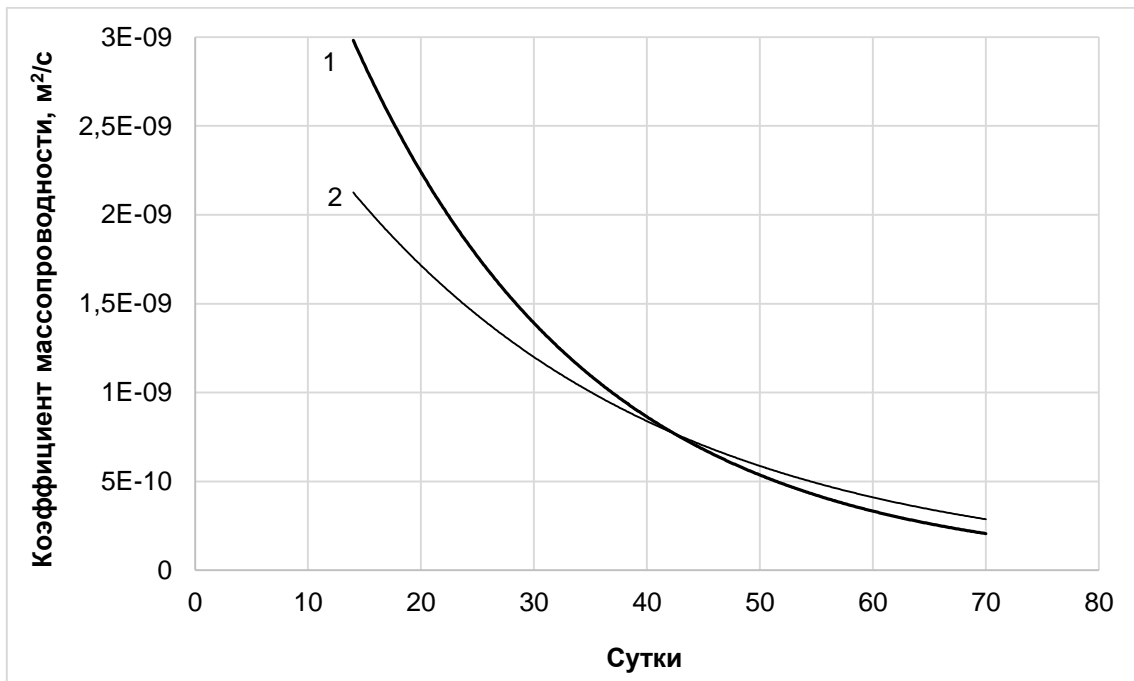


Рис. 4. Изменение значений коэффициента массопроводности образцов цементного камня: 1) без добавки; 2) с добавкой 0,5 % KNO_3 при коррозии в 2 %-ом растворе MgCl_2

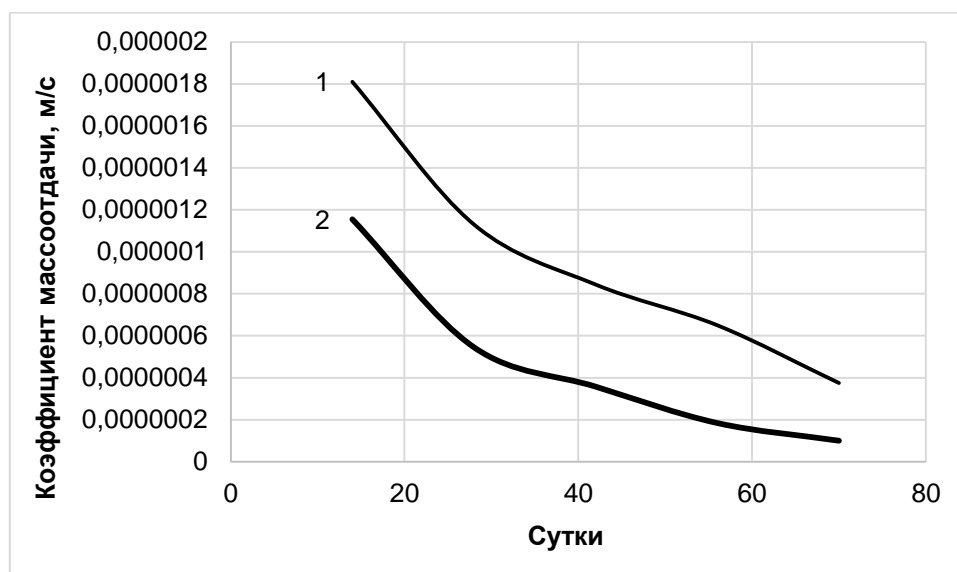


Рис. 5. Изменение значений коэффициента массоотдачи образцов цементного камня: 1) без добавки; 2) с добавкой 0,5 % KNO_3 при коррозии в 2 %-ом растворе MgCl_2

С помощью показателей массопереноса возможно прогнозировать сроки накопления в поровой жидкости цементного камня порогового содержания хлорид-ионов 0,4 % по массе цемента [17-21]. При достижении предельной концентрации хлорид-ионов у поверхности стальной арматуры в бетоне нарушается ее пассивное состояние и инициируются необратимые коррозионные процессы. Для накопления хлорид-ионов в количестве, при котором начинается коррозия стальной арматуры, в бетоне без ингибирующей добавки под воздействием 2 %-ого раствора MgCl_2 понадобится 174 суток, в бетоне с 0,5 % добавкой KNO_3 – 260 суток.

Заключение

Таким образом, введением в бетон нитратов щелочных и щелочно-земельных металлов в количестве 0,5 % от массы цемента можно снизить влияние жидкой агрессивной хлоридсодержащей среды на цементный ка-

мень бетона, замедлить поступление хлорид-ионов к поверхности стальной арматуры и продлить период инициирования коррозии стали в среднем в 1,5 раза.

Однако добавки нитратов металлов не меняют характеристики цементного камня бетона и слабо снижают ухудшение прочности цементного камня под воздействием агрессивной хлоридсодержащей среды.

Поскольку нитраты щелочных и щелочно-земельных металлов в большей степени применяются для ингибирования коррозии стальной арматуры при эксплуатации железобетона в сильно агрессивных средах, в комплексной добавке они могут оказывать вспомогательное действие.

Значения коэффициентов массообмена, соответствующих равновесному состоянию, используются для определения сроков безотказной службы бетонных и железобетонных изделий при воздействии жидких агрессивных сред [30].

Список литературы

1. Степанова В. Ф. Долговечность бетона. Вологда: Инфра-Инженерия, 2023. 124 с.
2. Коррозия бетона и железобетона, методы их защиты / В. М. Москвин [и др.]. М.: Стройиздат, 1980. 536 с.
3. Савин А. В., Лесовик В. С., Алфимова Н. И. К проблеме коррозионной стойкости железобетона // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В. Г. Шухова. 2013. № 2. С. 7–12.

4. Sosdean C., Marsavina L., de Schutter, G. Damage of Reinforced Concrete Structures due to Steel Corrosion // Advanced Materials Research, 2015, vol. 1111, pp. 187–192.

5. Relationship model between surface strain of concrete and expansion force of reinforcement rust / F. Chen, Z. Jin, E. Wang [et al.]. Scientific Reports, 2021, vol. 11, article no. 4208.

6. Research on the Corrosion/ Permeability/Frost Resistance of Concrete by Experimental and Microscopic Mechanisms Under Different Water-Binder Ratios / R. Zhang, P. Liu, L. Ma

[et al.]. *International Journal of Concrete Structures and Materials*, 2020, vol. 14, article no. 10. <https://doi.org/10.1186/s40069-019-0382-8>

7. Розенталь Н. К., Степанова В. Ф., Чехний Г. В. Бетоны высокой коррозионной стойкости и нормирование их характеристик // *Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века*. 2017. № 3–4. С. 14–19.

8. Влияние микроорганизмов на физико-механические свойства бетона / К. Б. Строкин, Д. Г. Новиков, В. С. Коновалова, [и др.] // *Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова*. 2021. № 10. С. 90–98. <https://doi.org/10.34031/2071-7318-2021-6-10-90-98>

9. Коновалова В. С., Румянцева В. Е. Влияние хлоридов на защитные способности бетона в железобетонных конструкциях // *Физика волокнистых материалов: структура, свойства, наукоемкие технологии и материалы (SMARTEX)*. 2015. № 1. С. 308–312.

10. Study on Surface Permeability of Concrete under Immersion / J. Liu, F. Xing, B. Dong, [et al.]. *Materials*, 2014, vol. 7, issue 2, pp. 876–886. <https://doi.org/10.3390/ma7020876>

11. Influence of the Marine Environment on Reinforced Concrete Degradation Depending on Exposure Conditions / M. Sosa, T. Pérez-López, J. Reyes [et al.]. *International Journal of Electrochemical Science*, 2011, vol. 6, pp. 6300–6318.

12. Шалый Е. Е., Ким Л. В., Леонович С. Н. Железобетон при воздействии карбонизации и хлоридной агрессии: вероятностная модель расчёта прогноза срока службы // *Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В. Г. Шухова*. 2018. № 6. С. 5–14. https://doi.org/10.12737/article_5b115a5ef027c2.76676320

13. Prediction of Chloride Penetration Depth Rate and Diffusion Coefficient Rate of Concrete from Curing Condition Variations due to Climate Change Effect / T. K. Kim, S. J. Choi, J. H. Choi [et al.]. *International Journal of Concrete Structures and Materials*, 2019, vol. 13, article no. 15. <https://doi.org/10.1186/s40069-019-0333-4>

14. Алексеев С. Н. Коррозия и защита арматуры в бетоне. М.: Стройиздат, 1968. 229 с.

15. Моржухина А. И., Никитин С. Е. Причины коррозии железобетонных конструкций в агрессивной среде // *Синергия наук*. 2017. № 13. С. 561–567.

16. Ndahirwa D., Qiao H., Mahame C. Effect of Carbonation, Chloride and Sulphate Attacks on Reinforced Concrete: A Review. *International Journal of Civil Engineering, Construction and Estate Management*, 2018, vol. 6, issue 2, pp. 59–64.

17. Алексеев С. Н. Долговечность железобетона в агрессивных средах. М.: Стройиздат, 1990. 316 с.

18. Розенталь Н. К., Степанова В. Ф., Чехний Г. В. О максимально допустимом содержании хлоридов в бетоне // *Строительные материалы*. 2017. № 1–2. С. 82–85.

19. Скорость проникновения хлорид-ионов к поверхности стальной арматуры в гидрофобизированных бетонах / С. В. Федосов, В. Е. Румянцева, С. В. Коновалова // *Современные наукоемкие технологии. Региональное приложение*. 2018. № 4 (56). С. 93–99.

20. Pacheco J., Polder R. B. Critical chloride concentrations in reinforced concrete specimens with ordinary Portland and blast furnace slag cement. *HERON*, 2016, vol. 61, issue 2, pp. 99–119.

21. Analysis of the Infiltration of Chloride Ions into Concrete Samples and Its Role in the Corrosion Onset of Embedded Steel Rebars / T. Pérez López, G. Canto, V. M. Moo-Yam [et al.]. *International Journal of Electrochemical Science*, 2012, vol. 7, pp. 426–436.

22. Cao J., Liu L., Zhao S. Relationship between Corrosion of Reinforcement and Surface Cracking Width in Concrete. *Advances in Civil Engineering*, 2020, vol. 2020, article ID 7936861. <https://doi.org/10.1155/2020/7936861>

23. Abdulsada S. A., Kristaly F., Torok T. I. Distribution of corrosion products at the steel-concrete interface of XD3 concrete samples. *Magazine of Civil Engineering*, 2020, vol. 100(8), Article No. 10005. <https://doi.org/10.18720/MCE.100.5>

24. Голшани М., Бабицкий В. В. Структурообразование цементного камня с добавками ингибиторами коррозии стали // *Строительная наука и техника*. 2011. № 5. С. 45–47.

25. Ингибирование коррозии бетонного композита комбинированной добавкой нитрита натрия и силиката натрия / В. Е. Румянцева, В. С. Коновалова, И. Н. Гоглев [и др.] // *Известия высших учебных заведений. Серия «Химия и химическая технология»*. 2021. Т. 64. № 8. С. 57–62. <https://doi.org/10.6060/ivkkt.20216408.6366>

26. Brown M. C., Weyers R. E., Sprinkel M. M. Effect of corrosion-inhibiting admixtures on material properties of concrete. *ACI Materials Journal*, 2001, vol. 98, issue 3, pp. 240–250.

27. Румянцева В. Е., Коновалова В. С., Нармания Б. Е. Влияние ингибирующих добавок нитратов на степень повреждения цементного камня бетона при жидкостной коррозии в хлоридсодержащих средах // *Эксперт: теория и практика*. 2022. № 4(19). С. 60–66. https://doi.org/10.51608/26867818_2022_4_60

28. Masadeh S. The Influence of Added Inhibitors on Corrosion of Steel in Concrete Exposed To Chloride Containing Solutions. *International Journal of Research*, 2015, vol. 2, issue 2, pp. 1487–1493.

29. Rumyantseva V. E., Konovalova V. S., Narmaniya B. E. Changes in the structural and phase composition and strength characteristics of concrete during liquid corrosion in chloride-containing media. *Journal of Physics: Conference Series*, 2021, vol. 1926, article no. 012057. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1926/1/012057>

30. Определение ресурса безопасной эксплуатации конструкций из бетона, содержащего гидрофобизирующие добавки / С. В. Федосов, В. Е. Румянцева, И. В. Красильников [и др.] // *Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности*. 2017. № 6 (372). С. 268–276.

References

1. Stepanova V. F. *Dolgovechnost' betona [Durability of concrete]*. Vologda: Infra-Inzeneriya, 2023. 124 p.

2. Korroziya betona i zhelezobetona, metody ih zashchity [Corrosion of concrete and reinforced concrete, methods of their protection] / V. M. Moskvina [et al.]. Moscow: Stroyizdat, 1980. 536 p.

3. Savin A. V., Lesovik V. S., Alfimova N. I. K probleme korrozionnoj stojkosti zhelezobetona [To the problem of corrosion resistance of reinforced concrete]. *Vestnik Belgorodskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta im. V. G. Shuhova*, 2013, issue 2, pp. 7–12.

4. Sosdean C., Marsavina L., de Schutter, G. Damage of Reinforced Concrete Structures due to Steel Corrosion // *Advanced Materials Research*, 2015, vol. 1111, pp. 187–192.

5. Relationship model between surface strain of concrete and expansion force of reinforcement rust / F. Chen, Z. Jin, E. Wang [et al.]. *Scientific Reports*, 2021, vol. 11, article no. 4208.

6. Research on the Corrosion/ Permeability/Frost Resistance of Concrete by Experimental and Microscopic Mechanisms Under Different Water–Binder Ratios / R. Zhang, P. Liu, L. Ma [et al.]. *International Journal of Concrete Structures and Materials*, 2020, vol. 14, article no. 10. <https://doi.org/10.1186/s40069-019-0382-8>

7. Rozental' N. K., Stepanova V. F., Chekhniy G. V. *Betony vysokoj korrozionnoj stojkosti i normirovanie ih harakteristik [Concrete of high corrosion resistance and regulation of their characteristics]*. *Stroitel'nye materialy, oborudovanie, tekhnologii XXI veka*, 2017, vol. 3–4, pp. 14–19.

8. Vliyanie mikroorganizmov na fiziko-mekhanicheskie svoystva betona [The influence of

microorganisms on the physical and mechanical properties of concrete] / K. B. Strokin, D. G. Novikov, V. S. Konovalova, [et al.]. *Vestnik Belgorodskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta im. V. G. Shuhova*, 2021, vol. 6, issue 10, pp. 90–98. <https://doi.org/10.34031/2071-7318-2021-6-10-90-98>

9. Konovalova V. S., Rumyantseva V. E. Vliyanie hloridov na zashchitnye sposobnosti betona v zhelezobetonykh konstrukciyah [The influence of chlorides on the protective ability of concrete in reinforced concrete structures]. *Fizika voloknistykh materialov: struktura, svoystva, naukoemkie tekhnologii i materialy (SMARTEX)*, 2015, issue 1, pp. 308–312.

10. Study on Surface Permeability of Concrete under Immersion / J. Liu, F. Xing, B. Dong, [et al.]. *Materials*, 2014, vol. 7, issue 2, pp. 876–886. <https://doi.org/10.3390/ma7020876>

11. Influence of the Marine Environment on Reinforced Concrete Degradation Depending on Exposure Conditions / M. Sosa, T. Pérez-López, J. Reyes [et al.]. *International Journal of Electrochemical Science*, 2011, vol. 6, pp. 6300–6318.

12. Shalyj E. E., Kim L. V., Leonovich S. N. Zhelezobeton pri vozdeystvii karbonizacii i hloridnoj agressii: veroyatnostnaya model' raschyota-prognoza sroka sluzhby]. *Vestnik Belgorodskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta im. V. G. Shuhova*, 2018, issue 6, pp. 5–14. https://doi.org/10.12737/article_5b115a5ef027c2.76676320

13. Prediction of Chloride Penetration Depth Rate and Diffusion Coefficient Rate of Concrete from Curing Condition Variations due to Climate Change Effect / T. K. Kim, S. J. Choi, J. H. Choi [et al.]. *International Journal of Concrete Structures and Materials*, 2019, vol. 13, article no. 15. <https://doi.org/10.1186/s40069-019-0333-4>

14. Alekseev S. N. *Korroziya i zashchita armatury v betone [Corrosion and reinforcement protection in concrete]*. M.: Stroyizdat, 1968. 229 p.

15. Morzhuhina A. I., Nikitin S. E. Prichiny korrozii zhelezobetonykh konstrukcij v agressivnoj srede [Causes of corrosion of reinforced concrete structures in the aggressive environment]. *Sinergiya nauk*, 2017, issue 13, pp. 561–567.

16. Ndahirwa D., Qiao H., Mahame C. Effect of Carbonation, Chloride and Sulphate Attacks on Reinforced Concrete: A Review. *International Journal of Civil Engineering, Construction and Estate Management*, 2018, vol. 6, issue 2, pp. 59–64.

17. Alekseev S. N. *Dolgovechnost' zhelezobetona v agressivnykh sredah [Durability of*

reinforced concrete in aggressive environments]. M.: Stroyizdat, 1990. 316 p.

18. Rozental' N. K., Stepanova V. F., Chekhniy G. V. O maksimal'no dopustimom soderzhanii hloridov v betone [About Maximum Admissible Content of Chlorides in Concrete]. *Stroitel'nye materialy*, 2017, vol. 1–2, pp. 82–85.

19. Skorost' proniknoveniya hlorid-ionov k poverhnosti stal'noj armatury v gidrofobizirovannyh betonah [Rate of penetration of chloride ions to the surface of steel reinforcement in hydrophobized concretes] / S. V. Fedosov, V. E. Rummyantseva, S. V. Konovalova [et al.]. *Sovremennye naukoemkie tekhnologii. Regional'noe prilozhenie*, 2018, vol. 4 (56), pp. 93–99.

20. Pacheco J., Polder R. B. Critical chloride concentrations in reinforced concrete specimens with ordinary Portland and blast furnace slag cement. *HERON*, 2016, vol. 61, issue 2, pp. 99–119.

21. Analysis of the Infiltration of Chloride Ions into Concrete Samples and Its Role in the Corrosion Onset of Embedded Steel Rebars / T. Pérez López, G. Canto, V. M. Moo-Yam [et al.]. *International Journal of Electrochemical Science*, 2012, vol. 7, pp. 426–436.

22. Cao J., Liu L., Zhao S. Relationship between Corrosion of Reinforcement and Surface Cracking Width in Concrete. *Advances in Civil Engineering*, 2020, vol. 2020, article ID 7936861. <https://doi.org/10.1155/2020/7936861>

23. Abdulsada S. A., Kristaly F., Torok T. I. Distribution of corrosion products at the steel-concrete interface of XD3 concrete samples. *Magazine of Civil Engineering*, 2020, vol. 100(8), Article No. 10005. <https://doi.org/10.18720/MCE.100.5>

24. Golshani M., Babickij V. V. Strukturnoobrazovanie cementnogo kamnya s dobavkami ingibitorami korrozii stali [Structure formation of the cement stone with additives inhibitors of steel corrosion]. *Stroitel'naya nauka i tekhnika*, 2011, issue 5, pp. 45–47.

25. Ingibirovanie korrozii betonogo kompozita kombinirovannoj dobavkoj nitrita natri-

ya i silikata natriya [Inhibition of concrete composite corrosion by combined addition of sodium nitrite and sodium silicate] / V. E. Rummyantseva, V. S. Konovalova, I. N. Goglev. *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Khimiya i Khimicheskaya Tekhnologiya*, 2021, vol. 64, issue 8, pp. 57–62. <https://doi.org/10.6060/ivkkt.20216408.6366>

26. Brown M. C., Weyers R. E., Sprinkel M. M. Effect of corrosion-inhibiting admixtures on material properties of concrete. *ACI Materials Journal*, 2001, vol. 98, issue 3, pp. 240–250.

27. Rummyantseva V. E., Konovalova V. S., Narmaniya B. E. Vliyanie ingibiruyushchih dobavok nitratov na stepen' povrezhdeniya cementnogo kamnya betona pri zhidkostnoj korrozii v hloridsoderzhashchih sredah [The effect of inhibitory additives of nitrates on the concrete cement stone damage during liquid corrosion in chloride-containing environments]. *Ekspert: teoriya i praktika*, 2022, vol. 4 (19), pp. 60–66. https://doi.org/10.51608/26867818_2022_4_60

28. Masadeh S. The Influence of Added Inhibitors on Corrosion of Steel in Concrete Exposed To Chloride Containing Solutions. *International Journal of Research*, 2015, vol. 2, issue 2, pp. 1487–1493.

29. Rummyantseva V. E., Konovalova V. S., Narmaniya B. E. Changes in the structural and phase composition and strength characteristics of concrete during liquid corrosion in chloride-containing media. *Journal of Physics: Conference Series*, 2021, vol. 1926, article no. 012057. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1926/1/012057>

30. Opredelenie resursa bezopasnoj ekspluatatsii konstrukcij iz betona, soderzhashchego gidrofobiziruyushchie dobavki [Determination of safe service life of structures made of concrete containing hydrophobic additives] / S. V. Fedosov, V. E. Rummyantseva, I. V. Krasil'nikov [et al.]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenij. Tekhnologiya tekstil'noj promyshlennosti*, 2017, vol. 6 (372), pp. 268–276.

Румянцева Варвара Евгеньевна

доктор технических наук, профессор, член-корреспондент РААСН

Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,

Российская Федерация, г. Иваново

профессор кафедры естественнонаучных дисциплин

ФГБОУ ВО Ивановский государственный политехнический университет,

Российская Федерация, г. Иваново

директор Института информационных технологий, естественных и гуманитарных наук, зав. кафедрой естественных наук и техноферной безопасности

E-mail: varrym@gmail.com

Rumyantseva Varvara Evgenievna

doctor of technical sciences, professor, corresponding member of the RAACS
Federal State Budget Educational Establishment of Higher Education «Ivanovo Fire Rescue Academy
of State Firefighting Service of Ministry of Russian Federation for Civil Defense, Emergencies
and Elimination of Consequences of Natural Disasters»,
Russian Federation, Ivanovo
professor of the department of natural sciences
Federal State Budget Educational Establishment of Higher Education «Ivanovo State Polytechnic
University»,
Russian Federation, Ivanovo
director of the Institute of information technology, natural sciences and humanities, head of the department
of natural sciences and technosphere safety
E-mail: varrym@gmail.com

Коновалова Виктория Сергеевна

ФГБОУ ВО Ивановский государственный политехнический университет,
Российская Федерация, г. Иваново
кандидат технических наук, доцент кафедры естественных наук и техносферной безопасности
E-mail: kotprotiv@yandex.ru

Konovalova Viktoriya Sergeevna

Federal State Budget Educational Establishment of Higher Education «Ivanovo State Polytechnic
University»,
Russian Federation, Ivanovo
candidate of technical sciences, docent of the department of natural sciences and technosphere safety
E-mail: kotprotiv@yandex.ru

Нармания Борис Евгеньевич

ФГБОУ ВО Национальный исследовательский Московский государственный строительный
университет,
Российская Федерация, г. Москва
аспирант
E-mail: borisfablee@gmail.com

Narmaniya Boris Evgenievich

Federal State Budget Educational Establishment of Higher Education «Moscow State University
of Civil Engineering (National Research University)»,
Russian Federation, Moscow
postgraduate student
E-mail: borisfablee@gmail.com

Фролова Татьяна Владиславовна

Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,
Российская Федерация, г. Иваново
кандидат химических наук, старший преподаватель кафедры естественнонаучных дисциплин
E-mail: frolovatanja@mail.ru

Frolova Tatiyana Vladislavovna

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

УДК 666.97:66.02:620.193

ТРАНСФОРМАЦИЯ ПРОЧНОСТИ БЕТОНА ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ КОНСТРУКЦИИ В АГРЕССИВНОЙ ВОЗДУШНОЙ СРЕДЕ С ИЗМЕНЯЮЩИМИСЯ ПАРАМЕТРАМИ

**В. Е. РУМЯНЦЕВА^{1,2}, И. В. КРАСИЛЬНИКОВ^{2,3}, У. А. НОВИКОВА⁵,
И. А. КРАСИЛЬНИКОВА⁴, К. Б. СТРОКИН⁵**

¹ Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,
Российская Федерация, г. Иваново

² Ивановский государственный политехнический университет,
Российская Федерация, г. Иваново

³ Научно-исследовательский институт строительной физики РААСН, Российская Федерация, г. Москва

⁴ Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича
и Николая Григорьевича Столетовых,
Российская Федерация, г. Владимир

⁵ Сахалинский государственный университет,
Российская Федерация, г. Южно-Сахалинск

E-mail: varrym@gmail.com, korasb@mail.ru, uliana.a.novikova@gmail.com,
irinanebukina@rambler.ru, strokin07@rambler.ru

Цель настоящей публикации – продемонстрировать результаты моделирования изменения прочностных характеристик строительных конструкций, вызванных массообменными процессами при эксплуатации в воздушных агрессивных средах. Описано влияние «свободного гидроксида кальция» на устойчивость минералов цементного камня, определены эмпирические зависимости коэффициента стойкости бетона в зависимости от безразмерной концентрации гидроксида кальция. Представлены необходимые уравнения для выполнения расчетов по прогнозированию трансформации прочности бетона при эксплуатации конструкции в агрессивной воздушной среде с изменяющимися параметрами. Приведено полученное решение дифференциального уравнения нестационарной массопроводности гидроксида кальция при его химическом взаимодействии с агрессивными компонентами воздушной среды. Рассчитан коэффициент стойкости бетона, при эксплуатации конструкции во влажной воздушной среде с содержанием хлора концентрации 10 мг/м³.

Ключевые слова: долговечность, бетон, массоперенос, прочность, коэффициент стойкости, концентрация, химическое взаимодействие.

TRANSFORMATION OF CONCRETE STRENGTH DURING CONSTRUCTION OPERATION IN AN AGGRESSIVE AIR ENVIRONMENT WITH CHANGING PARAMETERS

**V. E. RUMYANTSEVA^{1,2}, I. V. KRASILNIKOV^{2,3}, I. A. KRASILNIKOVA⁴, U. A. NOVIKOVA⁵,
K. B. STROKIN⁵**

¹ Federal State Budget Educational Establishment of Higher Education
«Ivanovo Fire Rescue Academy of State Firefighting Service of Ministry of Russian Federation
for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters»,
Russian Federation, Ivanovo

² Ivanovo State Polytechnic University, Russian Federation, Ivanovo

³ Scientific Research Institute of Construction Physics RAASN, Russian Federation, Moscow

⁴ Vladimir State University, Russian Federation, Vladimir

⁵ Sakhalin State University, Russian Federation, Yuzhno-Sakhalinsk

E-mail: varrym@gmail.com, korasb@mail.ru, uliana.a.novikova@gmail.com,
irinanebukina@rambler.ru, strokin07@rambler.ru

The purpose of this publication is to demonstrate the results of research aimed at predicting changes in the strength characteristics of building structures during operation in aggressive air environments. The influence of "free calcium hydroxide" on the stability of cement stone minerals is described, empirical dependences of the concrete resistance coefficient depending on the dimensionless concentration of calcium hydroxide are determined. The necessary equations for performing calculations for predicting the transfor-

mation of concrete strength during the operation of the structure in an aggressive air environment with changing parameters are presented. An example of calculating the change in the coefficient of resistance of concrete during the operation of the structure in a humid air environment with a chlorine concentration of $10 \text{ mg} / \text{m}^3$ is given.

Key words: durability, concrete, mass transfer, strength, resistance coefficient, concentration, chemical interaction.

Введение

Наиболее актуальными научными исследованиями являются те, которые направлены на повышение эффективности и капиталоотдачи всех инвестиционных проектов на всех этапах жизненного цикла, в том числе в сфере строительства и реконструкции объектов недвижимости [1].

Суммарные издержки оборота недвижимого имущества любого гражданского, либо промышленного здания или сооружения есть результирующая непосредственных затрат, связанных с их проектированием, возведением, эксплуатацией, текущими и капитальными ремонтами, утилизацией. Начиная уже с момента завершения монтажа конструкции, в ее структуре могут начинаться деструктивные процессы, приводящие в различной степени к изменению свойств материала, ввиду этого требуется разработка новых методов точного расчета долговечности конструкций, проводимых на этапе проектирования.

Следует отметить, что проектирование долговечности железобетонных конструкций основано на обеспечении их коррозионной стойкости на базе установившихся требований к характеристикам исходных материалов по прочности, морозостойкости, водонепроницаемости, диффузионной проницаемости и др. Кроме этого предъявляются требования к качеству составляющих композита, к условиям окружающей среды эксплуатации. Следует признать взаимосвязь между качеством применяемых материалов при строительстве объекта с его долговечностью [2, 3].

Продолжительность безопасной эксплуатации объектов строительства, определяется периодом в течение которого обеспечены проектное напряженно-деформируемое состояние

и безотказность работы строительных конструкций, отражающиеся на наборе механических, физических и химических свойств не ниже (выше) определенного порогового значения.

Материалы и методы исследования

В настоящей публикации выдвинута следующая гипотеза: массообменные процессы выводят из равновесного состояния структуру цементного камня, а, следовательно, изменяют прочность бетона. Поэтому на основе литературных данных рассмотрена взаимосвязь между изменением прочности и целевым компонентом бетона, которым для бетонов на портландцементном вяжущем является гидроксид кальция. На основе работ научной школы работ академика РААСН С. В. Федосова приведены расчеты диффузии целевого компонента в теле конструкции, эксплуатируемой в воздушной агрессивной среде [4–8].

Результаты технической диагностики зданий и сооружений из бетона и железобетона, после длительной эксплуатации показывают, что среда эксплуатации рассматриваемых конструкций в 80 % случаев является агрессивной, в особенности на промышленных предприятиях [1, 9]. В условиях эксплуатации в воздушной среде наибольшую опасность представляют хлоридсодержащие газы высокой влажности (табл. 1), так как растворимость, образующихся солей на два порядка превышает растворимость «свободного гидроксида кальция», а после диффузии хлоридов по толщине защитного слоя они запускают электрохимические реакции на поверхности стальной арматуры, тем самым провоцируют и ее коррозию.

Таблица 1. Распределение некоторых газовых соединений по группам

Группа газов	Виды газов, паров	Химическая формула	Продукт взаимодействия с $\text{Ca}(\text{OH})_2$	Растворимость продукта в воде, г/л в стандартных условиях
I	Диоксид углерода	CO_2	CaCO_3	0,065
	Плавиковая кислота	HF	CaF_2	0,016
II	Диоксид серы	SO_2	$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	2,04
	Триоксид серы	SO_3	$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	2,04
	Дигидросульфид	H_2S	$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	2,04

Группа газов	Виды газов, паров	Химическая формула	Продукт взаимодействия с $\text{Ca}(\text{OH})_2$	Растворимость продукта в воде, г/л в стандартных условиях
III	Соляная кислота	HCl	$\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	745
	Хлор	Cl_2	$\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	745
	Пары азотной кислоты	HNO_3	$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	845
	Оксиды азота	NO, NO_2	$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	845
	Пары брома	Br_2	$\text{CaBr}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	1430
	Пары йода	I_2	$\text{CaI}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	2086

Взаимодействие газовых агрессивных сред с компонентами цементного камня представляет собой многоступенчатый сложный гетерогенный физико-химический процесс [9–13], который сопровождается следующими подпроцессами: диффузия в объеме окружающей газовой среды агрессивного компонента к поверхности бетона; переход агрессивного компонента из газовой среды в капиллярно-пористую структуру бетона; массоперенос агрессивного компонента по капиллярно-пористой структуре бетона; растворение газа в жидкости, находящейся в порах бетона, и образование раствора кислоты; массоперенос по капиллярно-пористой структуре бетона рас-

твора образовавшейся кислоты; химическая реакция кислоты с гидроксидом кальция, продуктом которой будут соли кальция; кристаллизация образовавшихся солей кальция из раствора, выпадение осадка; диффузия гидроксида кальция в области уменьшенного его содержания, вследствие химических реакций. Описанные этапы могут протекать не только последовательно, но и(или) параллельно. При этом наибольшая скорость процесса будет достигнута при растворении агрессивного компонента на границе раздела фаз «газ-бетон», поэтому именно этот случай рассматриваем далее. Общая схема моделируемых процессов показана на рис. 1.

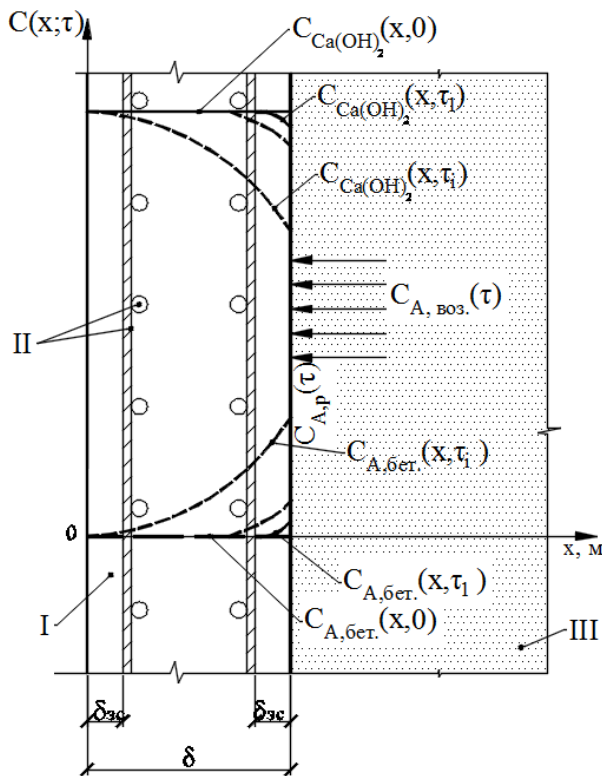


Рис. 1. Принципиальная схема диффузионных процессов при газовой коррозии железобетона (I – бетон; II – стальная арматура; III – воздушная среда с агрессивными газами)

На рис. и последующих выражениях приняты обозначения: $C_{Ca(OH)_2}(x,t)$ – распределение концентрации гидроксида кальция растворенного в жидкости пор бетона по толщине конструкции от времени t и координаты x , кг $Ca(OH)_2$ /кг бетона; $C_{A,воз.}$ – концентрация агрессивного газа в окружающей конструкции среде, кг/м³; δ – толщина конструкции, м; $\delta_{зс}$ – толщина защитного слоя, м; $C_{A,бет.}(x,t)$ – распределение концентраций образовавшейся кислоты (агрессивного компонента – АК) по толщине конструкции от времени t и координаты x , кг АК / кг бетона; $C_{A,p}$ – равновесная концентрация АК на поверхности конструкции, кг АК / кг бетона.

Концентрация агрессивных газов в воздухе изменчива. Известно, что содержание углекислого газа в Земной атмосфере увеличивается, установлены сезонные колебания концентраций агрессивных газов в воздухе. В производственных помещениях она также не одинакова, пропорциональна загруженности предприятия, изменяется дискретно или перманентно, а на поверхности конструкций наблюдается аккумулятивный эффект. В таком случае, концентрация агрессивных газов в воздухе есть некоторая функция от времени эксплуатации [4]:

$$C_{A, воз.} = f(t). \quad (1)$$

В общем виде распределение (1) может быть представлено графически, а также аппроксимировано, например, гистограммой (рис. 2). В таком случае, жизненный цикл строительного объекта, в зависимости от агрессивности окружающей среды, разделяется на временные интервалы:

$$\Delta t = t_{i+1} - t_i. \quad (2)$$

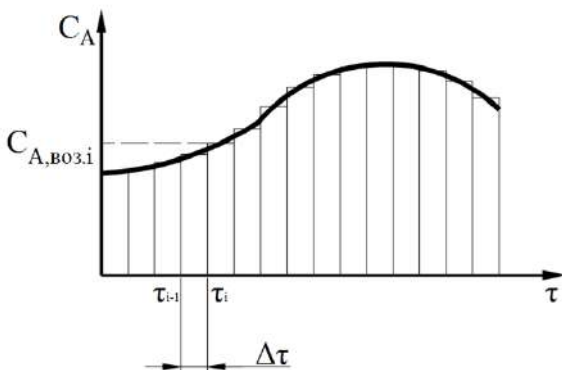


Рис. 2. Общий вид изменения концентрации агрессивных газов с аппроксимацией гистограммой

Моделирование процессов коррозии для системы «железобетон – воздушная агрессивная среда», позволит на протяжении жизненного цикла описывать трансформацию прочности бетона при эксплуатации конструкции в агрессивной воздушной среде с изменяющимися параметрами. Информационная модель, в таком случае, должна включать в себя эмпирические уравнения прочности и концентрации гидроксида кальция, аналитические решения распределения концентрации гидроксида кальция $C(x,t)$, поглощаемого взаимодействием с агрессивными компонентами, а следовательно и выражением, описывающим изменение полей концентраций агрессивного компонента (кислоты, образовавшейся в результате растворения газа в жидкой фазе пор бетона) [12, 13].

Высокоосновные соединения цементного камня устойчивы только в растворах гидроксида кальция определенной концентрации [15, 18]. Гидроксид кальция значительно проще вступает в химические реакции, чем крупные и мелкие заполнители бетона, тем самым определяет долговечность бетона, а также его прочность на протяжении жизненного цикла [15]. Процессы диффузии в капиллярно-пористой структуре бетона протекают с малой интенсивностью. Дegradaция свойств материалов, вызванная воздействием агрессивной окружающей среды, начинается от границы раздела фаз и постепенно продвигается вглубь. «Свободный гидроксид кальция», находящийся в растворе порового пространства, в первую очередь участвует во всех физико-химических процессах, протекающих в структуре бетона при воздействии на конструкцию агрессивной окружающей среды.

Интенсивность растворения, фильтрации, капиллярного переноса, диффузии, химического взаимодействия с агрессивными компонентами гидроксида кальция из образцов цементного раствора и бетона, по данным различных авторов [16–19], характеризует развитие коррозии бетона, а полученные экспериментальные результаты исследований выщелачивания гидроксида кальция могут быть использованы для ориентировочного прогнозного подсчета изменения прочностных свойств бетона. В основном, результаты исследований изменения прочности бетона при воздействии на него агрессивных сред отражают в виде кинетических кривых, т.е. получают данные изменения прочности образцов во времени, варьируя при этом составом бетонных смесей, видами и концентрациями агрессивных веществ. При этом никак не рассматриваются

структурные изменения в бетоне, и чаще всего отсутствует корреляция с размерами образцов.

Интересными, являются результаты экспериментов Ф. М. Иванова [12], который, исследуя мелкозернистый бетон, получил дан-

ные связывающие концентрации гидроксида кальция с прочностью бетона (см. табл. 2). Полученные Ф. М. Ивановым данные хорошо согласуются со сведениями, приведенными В. М. Москвиным [16].

Таблица 2. Трансформация прочности бетона от концентрации «свободного гидроксида кальция»

Снижение концентрации Са(ОН) ₂ в структуре бетона, %	0	15	23	28	32
Прочность бетона, %	100	80	60	40	30

Результаты исследования и их обсуждение

Об относительном изменении прочности образцов будем судить на основании коэффициента стойкости K_c :

$$K_c = \frac{R_c}{R_0} \quad (3)$$

Коэффициент стойкости изменяется в процессе воздействия агрессивной среды, которая, взаимодействуя с бетоном, в первую очередь снижает содержание гидроксида кальция. Для удобства расчетов по прогнозированию изменения прочности бетона и по времени, и по толщине конструкции можно провести аппроксимацию любой математической функцией. Нами выполнено приближение эмпирическими зависимостями в виде параболы и показательной функции с основанием экспонента коэффициента стойкости в зависимости от безразмерной концентрации гидроксида кальция:

$$K_c(Z) = 1,5733 Z^2 - 2,6254Z + 1, \quad (4)$$

$$K_c(Z) = 0,032 [32,25 \cdot \exp(-3,474 Z) - 1], \quad (5)$$

$$\text{где } Z = (C_0 - C) / C_0. \quad (6)$$

На рис. 3. показано графически изменение коэффициента стойкости от концентрации гидроксида кальция (безразмерной).

Данные, полученные из эмпирических уравнений (4) и (5), можно использовать в информационных моделях жизненного цикла объектов строительства для моделирования трансформации прочности бетона по толщине конструктивных элементов при эксплуатации железобетонной конструкции как в воздушной, так и жидкой агрессивной среде.

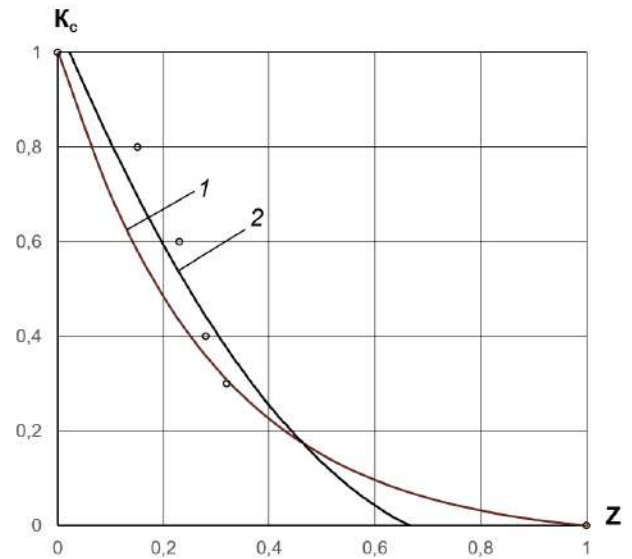


Рис. 3. Изменение коэффициента стойкости бетона от безразмерной концентрации гидроксида кальция

- 1- уравнение экспоненты (4);
- 2-уравнение параболы (5);
- точки – данные Ф. М. Иванова[12]

Как было показано в работах [8, 10, 15], основанных на теории тепломассопереноса академика А. В. Лыкова, в общем случае, в рамках рассматриваемого временного интервала жизненного цикла, диффузия «свободного гидроксида кальция» в его капиллярно-пористой структуре описывается линейным дифференциальным уравнением массопроводности параболического типа с источником членом [20,21]:

$$\frac{\partial C(x,t)}{\partial t} = k \frac{\partial^2 C(x,t)}{\partial x^2} + \frac{q_v(x,t)}{\rho_{бет}} \quad (7)$$

где: $k(x,t)$ – коэффициент диффузии гидроксида кальция в капиллярно-пористой структуре бетона, m^2/c ; $q_v(x,t)$ – источник массы (в данном случае интенсивность поглощения гидроксида кальция химическими реакциями с агрессивным компонентом), $kg Ca(OH)_2/(m^3 \cdot c)$; $\rho_{бет}$ – плотность бетона, kg/m^3 . Отметим, что моделирование массопереноса гидроксида кальция необходимо выполнять в совокупности с параллельно протекающими в структуре бетона железобетонных конструкций процессами адсорбции и диффузии агрессивных компонентов [15].

После начала химического взаимодействия гидроксида кальция с агрессивными компонентами в теле бетона, его распределение становится неравномерным по толщине конструкции. Начинается диффузия гидроксида кальция из зон с большей концентрацией в зоны, где произошло уменьшение его содержания [22]. Моделирование изменения концентраций «свободного гидроксида кальция» по толщине конструкции целесообразно прово-

дить методом микропроцессов, разбивая жизненный цикл строительного объекта на небольшие временные интервалы. Удобством такого подхода является то, что при переходе от одного микропроцесса к другому, можно последовательно изменять: концентрацию агрессивных компонентов в окружающей среде, коэффициенты диффузии гидроксида кальция и агрессивных компонентов в капиллярно-пористой структуре бетона, интенсивность поглощения гидроксида кальция и агрессивных компонентов в результате совместных химических реакций [23]. Применительно к газовой коррозии бетона, отметим, что отсутствует поток массы «свободного гидроксида кальция» в окружающую воздушную среду [24], следовательно, граничные условия должны отражать отсутствие градиента потоков массы на поверхностях конструкции. Решение уравнения (7) в безразмерном виде, при неравномерном начальном распределении с граничными условиями в виде нулевых градиентов следующее:

$$Z(\bar{x}, Fo_m) = \int_0^1 Z_0(\xi) d\xi + 2 \sum_{m=1}^{\infty} \cos(\pi m \bar{x}) \exp(-\pi^2 m^2 Fo_m) \int_0^1 Z_0(\xi) \cos(\pi m \xi) d\xi - \frac{2}{\pi^2} \sum_{m=1}^{\infty} \frac{\cos(\pi m \bar{x})}{m^2} \exp(-\pi^2 m^2 Fo_m) \int_0^1 Po_m^*(\xi) \cos(\pi m \xi) d\xi + \left(Fo_m + \frac{3\bar{x}^2 - 1}{6} \right) \int_0^1 Po_m^*(\xi) d\xi + \frac{1}{2} \int_0^1 Po_m^*(\xi) (1-\xi)^2 d\xi, \quad (8)$$

где $Fo_m = k \tau / \delta^2$ – массообменный критерий подобия Фурье; $Po_m^* = q_v \delta^2 / C_0 k \rho_{бет}$ – модифицированный массообменный критерий Померанцева.

Представленный способ моделирования трансформации прочности бетона на протяжении жизненного цикла конструкции, эксплуатируемой в газовой среде с изменяющимися параметрами, апробирован при расчете долговечности конструкций перекрытия отбельного цеха отделочного производства тканей ОАО ХБК «Шуйские ситцы».

Результаты обследования показали, что в помещениях отбельного цеха воздух содержит хлор концентрации 10 mg/m^3 при относительной влажности воздуха 80%. На первом временном интервале рассчитывались поля концентраций агрессивного компонента (в данном случае раствора соляной кислоты) при заданном значении равновесной концентрации на поверхности конструкции. Далее, на каждом временном этапе расчета, по уравнениям химической кинетики, в зависимости от константы реакции и концентраций реагирующих веществ (гидроксида кальция и соляной кислоты), определялась интенсивность поглощения

взаимодействующих компонентов. Результаты расчетов полей концентрации гидроксида кальция представлены графически в безразмерном виде на рис. 4.

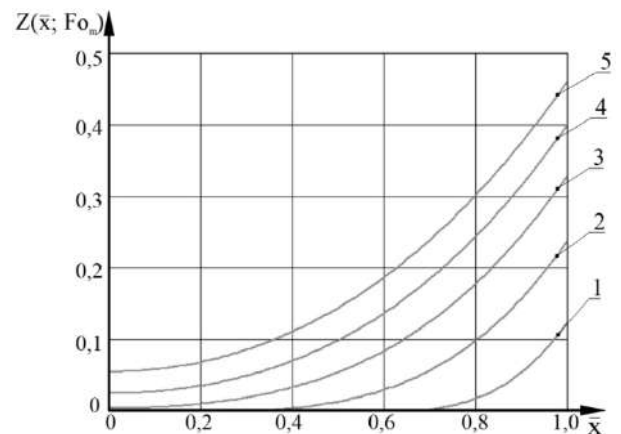


Рис. 4. Номограмма полей концентраций (безразмерных) гидроксида кальция через 1 – 2 года, 2 – 10 лет, 3 – 20 лет; 4 – 30 лет; 5 – 40 лет эксплуатации

На основе смоделированных полей концентраций различных временных этапов и полученным эмпирическим уравнениям (4) и (5) проведен прогноз трансформации прочности бетона на протяжении жизненного цикла конструкции в виде распределения коэффициента стойкости бетона по толщине конструкции, показанный на рис. 5. Результаты фиксируют значительное снижение коэффициента стойкости бетона вблизи плоскости взаимодействия с агрессивной окружающей средой.

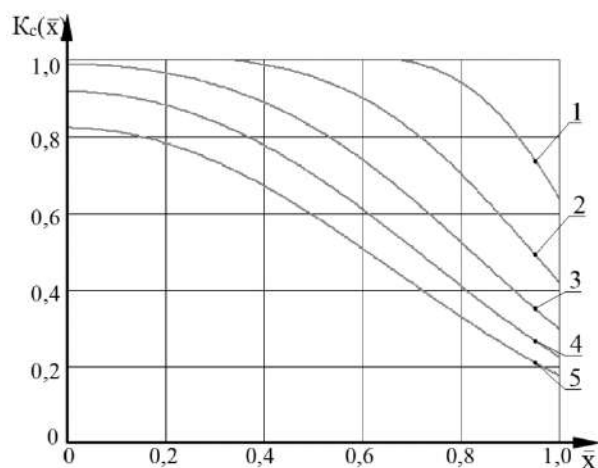


Рис. 5. Номограмма коэффициента стойкости бетона по толщине конструкции через 1 – 2 года, 2 – 10 лет, 3 – 20 лет; 4 – 30 лет; 5 – 40 лет эксплуатации

Смоделированная кинетика изменения концентраций гидроксида кальция и коэффициента стойкости бетона на протяжении 60 лет эксплуатации показывает, что уже через 10 лет эксплуатации, прочность бетона на поверхности конструкции и на границе защитного слоя арматуры будет составлять 42 % и 57 % соответственно от проектной, а через 60 лет эксплуатации в остатке составит 10...18 % от проектной.

Выводы

1. Показана необходимость проектирования долговечности железобетонных конструкций, основанной на обеспечении их коррозионной стойкости, поддерживаемой установленными требованиями к характеристикам исходных материалов и методов моделирования жизненного цикла строительных конструкций, эксплуатируемых в агрессивных средах.

2. Обоснована значимость в процессах коррозии бетона раствора гидроксида кальция,

Интересно отметить, что последовательный расчет по полученным выражениям (8) и (5) позволяет смоделировать исследуемые параметры на определенной координате [25], тем самым отслеживать физико-химические изменения кинетически. В качестве примера продемонстрируем кинетику изменения концентраций целевого компонента и коэффициента стойкости бетона на поверхности конструкции, взаимодействующей с агрессивной средой, а также на границе защитного слоя арматуры (рис. 6.).

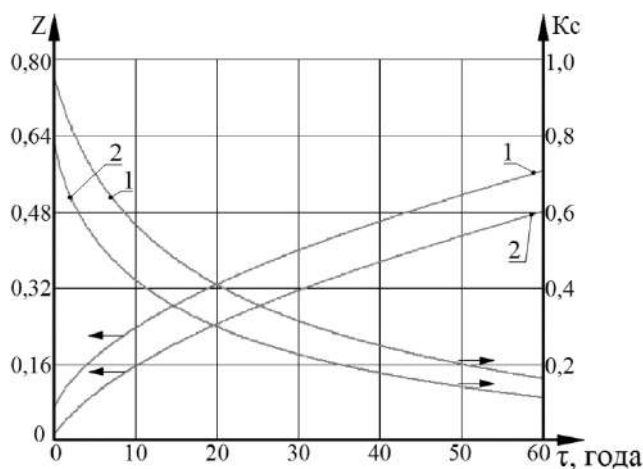


Рис. 6. Кинетические кривые изменения концентрации гидроксида кальция и коэффициента стойкости бетона 1 – на поверхности арматуры; 2 – на поверхности конструкции

находящегося в его капиллярно-пористой структуре.

3. На основе поискового исследования литературных данных получены эмпирические зависимости коэффициента стойкости от безразмерной концентрации гидроксида кальция в виде уравнений параболы и показательной функции с основанием экспонента.

4. Представлены результаты физико-математического моделирования изменения концентрации гидроксида кальция в результате его взаимодействия с агрессивными компонентами, математически доказана нестационарность процесса.

5. Смоделировано изменение прочностных характеристик бетона, вызванных массообменными процессами при эксплуатации в агрессивной воздушной среде отбелного цеха отделочного производства тканей. Изменение прочности бетона отражено в виде его коэффициента стойкости.

6. Показана кинетика изменения концентраций гидроксида кальция и коэффициента

стойкости бетона на протяжении 60 лет эксплуатации на поверхности конструкции и на

границе защитного слоя арматуры.

Список литературы

1. Инженерный и экономический анализ энергосберегающих мероприятий / Р. М. Алоян, С. В. Федосов, Н. Ю. Матвеева [и др.] Тамбов: Изд-во ИП Першина Р.В. 2014. 165 с.
2. Исследование влияния процессов массопереноса на надежность и долговечность железобетонных конструкций, эксплуатируемых в жидких агрессивных средах / С. В. Федосов, В. Е. Румянцева, И. В. Красильников [и др.] // Строительные материалы. 2017. № 12. С. 52–57.
3. Определение коррозионной стойкости торкрет-бетона как защитного покрытия бетонных и железобетонных конструкций / В. Ф. Степанова, Н. К. Розенталь, Г. В. Чехний [и др.] // Строительные материалы. 2018. № 8. С. 69–73.
4. Исследование диффузионных процессов массопереноса при жидкостной коррозии первого вида цементных бетонов / С. В. Федосов, В. Е. Румянцева, И. В. Красильников [и др.] // Известия высших учебных заведений. Серия: Химия и химическая технология. 2015. Т. 58. № 1. С. 99–104.
5. О концепции развития нормативно-технической базы строительных объектов в период их эксплуатации / В. И. Травуш, В. В. Гурьев, А. Н. Дмитриев [и др.] // Academia. Архитектура и строительство. 2021. № 1. С. 121–133.
6. Федосов С. В. Тепломассоперенос в технологических процессах строительной индустрии. Иваново: ИПК ПресСто, 2010. 364 с.
7. Математическое моделирование нестационарного массопереноса в системе "цементный бетон - жидкая среда", лимитируемого внутренней диффузией и внешней массоотдачей / С. В. Федосов, В. Е. Румянцева, И. В. Красильников [и др.] // Строительные материалы. 2022. № 1–2. С. 134–140.
8. Исследования физико-химических процессов в системе «цементный бетон - жидкая агрессивная среда» / С. В. Федосов, В. Е. Румянцева, И. В. Красильников [и др.] Известия вузов. Химия и хим. технология. 2022. Т. 65. Вып. 7. С. 61–70
9. Овчинников И. И. Современное состояние проблемы расчета армированных конструкций, подвергающихся воздействию агрессивных сред // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2012. № 2. С. 46–60.
10. Определение ресурса безопасной эксплуатации конструкций из бетона, содержащего гидрофобизирующие добавки / С. В. Федосов, В. Е. Румянцева, И. В. Красильников [и др.] // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2017. № 6 (372). С. 268–276.
11. Розенталь Н. К. Проблемы коррозионного повреждения бетона // Бетон и железобетон. 2007. № 6. С. 55–59.
12. Долговечность железобетона в агрессивных средах / С. Н. Алексеев, Ф. М. Иванов, С. Модры [и др.]. М.: Стройиздат, 1990. 320 с.
13. The influence of hydrogen sulfide on corrosion of iron under different conditions / Ma H., Cheng X., Li G. [et al.]. Corrosion Science, 2000, vol. 42, issue 10, pp. 1669–1683.
14. Прогноз долговечности береговых сооружений из железобетона / С. В. Федосов, Б. И. Булгаков, И. В. Красильников [и др.] // Техника и технология силикатов. 2022. Т. 29. № 1. С. 55-63.
15. Гетерогенные физико-химические процессы массопереноса агрессивных веществ в структуре бетона железобетонных конструкций, эксплуатируемых в газовой среде с изменяющимися параметрами / С. В. Федосов, В. Е. Румянцева, И. В. Красильников [и др.] // Современные проблемы гражданской защиты. 2022. № 4 (45). С. 142–152.
16. Коррозия бетона и железобетона, методы их защиты / В. М. Москвин, Ф. М. Иванов, С. Н. Алексеев [и др.]. М.: Стройиздат, 1980. 536 с.
17. Efflorescence inhibition and microstructure evolution of Portland cement-based artificial stone induced by mineral additives / Yang Zhenghong, Li Qiang, Liu Meichen [et al.]. Case Studies in Construction Materials, 2022, vol. 17, e01509.
18. Study on the corrosion change law and prediction model of cement stone in oil wells with CO₂ corrosion in ultra-high-temperature acid gas wells / Zhang Y., Xu M., Song J. [et al.]. Construction and Building Materials, 2022, 323, 125879.
19. Теоретические и экспериментальные исследования процессов коррозии первого вида цементных бетонов при наличии внутреннего источника массы / С. В. Федосов, В. Е. Румянцева, Н. С. Касьяненко [и др.] // Строительные материалы. 2013. № 6. С. 44–47.
20. Лыков А. В. Явления переноса в капиллярно-пористых телах. М.: Гостехиздат, 1954. 296 с.

21. Лыков А. В., Михайлов Ю. А. Теория тепло- и массопереноса. М.; Л.: Госэнергоиздат, 1963. 536 с.

22. Smirnova N. N., Krasil'nikov I. V. An effect of the nature of immobilized components on the adsorption and mass transfer properties of ultrafiltration membranes based on sulfonate-containing copolyamide. *Russian Journal of Applied Chemistry*, 2019, vol. 92, issue 11, pp. 1570–1580.

23. Нестационарный массоперенос в процессах коррозии второго вида цементных бетонов. малые значения чисел Фурье, с внутренним источником массы / С. В. Федосов, В. Е. Румянцева, Н. С. Касьяненко [и др.] // Известия высших учебных заведений. Серия: Химия и химическая технология. 2015. Т. 58. № 1. С. 97–99.

24. Research of the engagement of liquid aggressive environment and concrete / S. Fedosov, V. Roumyantseva, I. Krasilnikov [et al.]. *Lecture Notes in Networks and Systems*, 2022, vol. 403 LNNS, pp. 1362–1370.

25. Mathematical modeling of the colmatation of concrete pores during corrosion / S. V. Fedosov, V. E. Rumyantseva, I. V. Krasilnikov [et al.]. *Magazine of Civil Engineering*, 2018, vol. 7 (83), pp. 198–207.

References

1. *Inzhenernyj i jekonomicheskij analiz jenergoberegajushhih meroprijatij* [Engineering and economic analysis of energy saving measures] / R. M. Alojjan, S. V. Fedosov, N. Ju. Matveeva [et al.]. Tambov: Izd-vo IP Pershina R. V., 2014. 165 p.

2. Issledovanie vlijaniya processov massoperenosa na nadezhnost' i dolgovechnost' zhelezobetonnyh konstrukcij, jekspluatiruemyh v zhidkih agressivnyh sredah [Study of the influence of mass transfer processes on the reliability and durability of reinforced concrete structures operated in liquid aggressive environments] / S. V. Fedosov, V. E. Rumjanceva, I. V. Krasil'nikov [et al.]. *Stroitel'nye materialy*, 2017, issue 12, pp. 52–57.

3. Opredelenie korrozionnoj stojkosti torkret-betona kak zashhitnogo pokrytija betonnyh i zhelezobetonnyh konstrukcij [Determination of the corrosion resistance of shotcrete concrete as a protective coating for concrete and reinforced concrete structures]. V. F. Stepanova, N. K. Rozental', G. V. Chehnij [et al.]. *Stroitel'nye materialy*, 2018, issue 8, pp. 69–73.

4. Issledovanie diffuzionnyh processov massoperenosa pri zhidkostnoj korrozii pervogo vida cementnyh betonov [Study of diffusion processes of mass transfer during liquid corrosion of

the first type of cement concrete] / S. V. Fedosov, V. E. Rumjanceva, I. V. Krasil'nikov [et al.]. *Izvestija vysshih uchebnyh zavedenij. Serija: Himija i himicheskaja tehnologija*, 2015, vol. 58, issue 1, pp. 99–104.

5. O koncepcii razvitija normativno-tehnicheskoy bazy stroitel'nyh obektov v period ih jekspluatacii [On the concept of development of the regulatory and technical base of construction projects during their operation] / V. I. Travush, V. V. Gur'ev, A. N. Dmitriev [et al.]. *Academia. Arhitektura i stroitel'stvo*, 2021, issue 1, pp. 121–133.

6. Fedosov S. V. *Teplomassoperenos v tehnologicheskix processax stroitel'noj industrii* [Heat and mass transfer in technological processes of the construction industry]. Ivanovo: IPK PresSto, 2010. 364 p.

7. Matematicheskoe modelirovanie nestacionarnogo massoperenosa v sisteme "cementnyj beton - zhidkaja sreda", limitiruemogo vnutrennej diffuziej i vneshnej massootdachej [Mathematical modeling of non-stationary mass transfer in the "cement concrete - liquid medium" system, limited by internal diffusion and external mass transfer] / S. V. Fedosov, V. E. Rumjanceva, I. V. Krasil'nikov [et al.]. *Stroitel'nye materialy*, 2022, vol. 1–2, pp. 134–140.

8. Issledovanija fiziko-himicheskix processov v sisteme «cementnyj beton - zhidkaja agressivnaja sreda» [Research of physical and chemical processes in the system "cement concrete - liquid aggressive medium"] / S. V. Fedosov, V. E. Rumjanceva, I. V. Krasil'nikov [et al.]. *Izvestiya vuzov. Himija i him. tehnologija*, 2022, vol. 65, issue 7, pp. 61–70

9. Ovchinnikov I. I. Sovremennoe sostojanie problemy rascheta armirovannyh konstrukcij, podvergajushhihsja vozdejstvuju agressivnyh sred [Current state of the problem of calculating reinforced structures exposed to aggressive environments]. *Stroitel'stvo unikal'nyh zdaniy i sooruzhenij*, 2012, issue 2, pp. 46–60.

10. Opredelenie resursa bezopasnoj jekspluatacii konstrukcij iz betona, sodержashhego gidrofobizirujushhie dobavki [Determination of the safe operation life of concrete structures containing water-repellent additives] / S. V. Fedosov, V. E. Rumjanceva, I. V. Krasil'nikov [et al.]. *Izvestija vysshih uchebnyh zavedenij. Tehnologija tekstil'noj promyshlennosti*, 2017, vol. 6 (372). pp. 268–276.

11. Rozental' N. K. Problemy korrozionogo povrezhdenija betona [Problems of corrosion damage to concrete]. *Beton i zhelezobeton*, 2007, issue 6, pp. 55–59.

12. *Dolgovechnost' zhelezobetona v agressivnyh sredah* [Durability of reinforced concrete in aggressive environments] / S. N. Alekseev,

F. M. Ivanov, S. Modry [et al.]. Moscow: Strojizdat, 1990. 320 p.

13. The influence of hydrogen sulfide on corrosion of iron under different conditions / Ma H., Cheng X., Li G. [et al.]. *Corrosion Science*, 2000, vol. 42, issue 10, pp. 1669–1683.

14. Prognoz dolgovechnosti beregovykh sooruzhenij iz zhelezobetona [Forecast of the durability of coastal structures made of reinforced concrete] / S. V. Fedosov, B. I. Bulgakov, I. V. Krasil'nikov [et al.]. *Tehnika i tehnologija silikatov*, 2022, vol. 29, issue 1, pp. 55–63.

15. Geterogennye fiziko-himicheskie processy massoperenosa agressivnykh veshhestv v strukture betona zhelezobetonnykh konstrukcij, jekspluatiruemykh v gazovoj srede s izmenjajushhimisja parametrami [Heterogeneous physical and chemical processes of mass transfer of aggressive substances in the concrete structure of reinforced concrete structures operated in a gas environment with changing parameters] / S. V. Fedosov, V. E. Rumjanceva, I. V. Krasil'nikov [et al.]. *Sovremennye problemy grazhdanskoj zashhity*, 2022, vol. 4 (45), pp. 142–152.

16. *Korrozija betona i zhelezobetona, metody ih zashhity* [Corrosion of concrete and reinforced concrete, methods of their protection] / V. M. Moskvina, F. M. Ivanov, S. N. Alekseev [et al.]. Moscow: Strojizdat, 1980. 536 p.

17. Efflorescence inhibition and microstructure evolution of Portland cement-based artificial stone induced by mineral additives / Yang Zhenghong, Li Qiang, Liu Meichen [et al.]. *Case Studies in Construction Materials*, 2022, vol. 17, e01509.

18. Study on the corrosion change law and prediction model of cement stone in oil wells with CO₂ corrosion in ultra-high-temperature acid gas wells / Zhang Y., Xu M., Song J. [et al.]. *Construction and Building Materials*, 2022, 323, 125879.

19. Teoreticheskie i jeksperimental'nye issledovanija processov korrozii pervogo vida ce-

mentnykh betonov pri nalichii vnutrennego istochnika massy [Theoretical and experimental studies of corrosion processes of the first type of cement concrete in the presence of an internal source of mass] / S. V. Fedosov, V. E. Rumjanceva, N. S. Kas'janenko [et al.]. *Stroitel'nye materialy*, 2013, issue 6, pp. 44–47.

20. Lykov A. V. *Javlenija perenosa v kapillarno-poristykh telakh* [Transport phenomena in capillary-porous bodies]. Moscow: Gostehizdat, 1954. 296 p.

21. Lykov A. V., Mihajlov Ju. A. *Teorija teplo- i massoperenosa* [Theory of heat and mass transfer]. Moscow; L.: Gosjenergoizdat, 1963. 536 p.

22. Smirnova N. N., Krasil'nikov I. V. An effect of the nature of immobilized components on the adsorption and mass transfer properties of ultrafiltration membranes based on sulfonate-containing copolyamide. *Russian Journal of Applied Chemistry*, 2019, vol. 92, issue 11, pp. 1570–1580.

23. Nestacionarnyj massoperenos v processah korrozii vtorigo vida cementnykh betonov. malye znachenija chisel Fur'e, s vnutrennim istochnikom massy [Unsteady mass transfer in corrosion processes of the second type of cement concrete. low Fourier numbers, with internal mass source] / S. V. Fedosov, V. E. Rumjanceva, N. S. Kas'janenko [et al.]. *Izvestija vysshih uchebnykh zavedenij. Serija: Himija i himicheskaja tehnologija*, 2015, vol. 58, issue 1, pp. 97–99.

24. Research of the engagement of liquid aggressive environment and concrete / S. Fedosov, V. Roumyantseva, I. Krasilnikov [et al.]. *Lecture Notes in Networks and Systems*, 2022, vol. 403 LNNS, pp. 1362–1370.

25. Mathematical modeling of the colmatation of concrete pores during corrosion / S. V. Fedosov, V. E. Rumyantseva, I. V. Krasilnikov [et al.]. *Magazine of Civil Engineering*, 2018, vol. 7 (83), pp. 198–207.

Румянцева Варвара Евгеньевна

Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,

Российская Федерация, г. Иваново

Ивановский государственный политехнический университет,

Российская Федерация, г. Иваново

Член-корреспондент РААСН, доктор технических наук, профессор

E-mail: varrym@gmail.com

Rumyantseva Varvara Evgenievna

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

Russian Federation, Ivanovo

Ivanovo State Polytechnic University,

Russian Federation, Ivanovo

Corresponding Member of the RAASN, Doctor of Technical Sciences, Professor

E-mail: varrym@gmail.com

Красильников Игорь Викторович

Ивановский государственный политехнический университет,
Российская Федерация, г. Иваново
Научно-исследовательский институт строительной физики РААСН,
Российская Федерация, г. Москва
кандидат технических наук, доцент
E-mail: korasb@mail.ru

Krasilnikov Igor Viktorovich

Ivanovo State Polytechnic University,
Russian Federation, Ivanovo
Scientific Research Institute of Construction Physics RAASN,
Russian Federation, Moscow
Candidate of Technical Sciences, docent
E-mail: korasb@mail.ru

Новикова Ульяна Александровна

Сахалинский государственный университет,
Российская Федерация, г. Южно-Сахалинск
старший преподаватель
E-mail: denis.g.novikov@gmail.com

Novikova Ulyana Alexandrovna

Sakhalin State University,
Russian Federation, Yuzhno-Sakhalinsk
Senior Lecturer
E-mail: uliana.a.novikova@gmail.com

Красильникова Ирина Александровна

Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича
и Николая Григорьевича Столетовых,
Российская Федерация, г. Владимир
кандидат технических наук, доцент
E-mail: irinanebukina@rambler.ru

Krasilnikova Irina Aleksandrovna

Vladimir State University,
Russian Federation, Vladimir
Candidate of Technical Sciences, docent
E-mail: irinanebukina@rambler.ru

Строкин Константин Борисович

доктор экономических наук, доцент, почетный строитель Российской Федерации
ФГБОУ ВО «Сахалинский государственный университет»
Российская Федерация, г. Южно-Сахалинск
директор Технического нефтегазового института
профессор кафедры строительства
E-mail: strokin07@rambler.ru

Strokin Konstantin Borisovich

Doctor of Economics, Associate Professor, Honorary Builder of the Russian Federation
Federal State Budget Educational Establishment of Higher Education «Sakhalin State University»
Russian Federation, Yuzhno-Sakhalinsk
Director of the technical oil and gas institute
Professor of the department of construction
E-mail: strokin07@rambler.ru

УДК 691.554:66.018.8

МИКРОБИОЛОГИЧЕСКАЯ СТОЙКОСТЬ ШТУКАТУРНОГО РАСТВОРА НА ОСНОВЕ ИЗВЕСТИ

**В. Е. РУМЯНЦЕВА^{1,2}, Д. А. ПАНЧЕНКО³, Ю. Ф. ПАНЧЕНКО³, В. С. КОНОВАЛОВА²,
Э. Н. МЕДВЕДЕВА³, Е. А. ШВАРЕВ¹**

¹ Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,
Российская Федерация, г. Иваново,

² ФГБОУ ВО Ивановский государственный политехнический университет,
Российская Федерация, г. Иваново,

³ ФГБОУ ВО Тюменский индустриальный университет,
Российская Федерация, г. Тюмень

E-mail: varrym@gmail.com, panchenkoda@tyuiu.ru, panchenkojf@tyuiu.ru, kotprotiv@ya.ru,
soloninava@tyuiu.ru, e_shvarev@inbox.ru

В работе представлены результаты исследования грибостойкости известкового штукатурного раствора в сравнении с гипсовой и цементной штукатуркой. Установлено, что штукатурные растворы на основе извести и цемента обладают высокой стойкостью к грибам рода *Paecilomyces elegans*, *Aspergillus niger*, *Cladosporium herbarum*, *Verticillium nigrescens*, *Penicillium chrysogenum*, в отличие от гипсовой штукатурки, на которой после 28 суток хранения зараженных образцов во влажной среде обнаружались споры грибов. Штукатурный раствор на основе извести обладает не только высокой грибостойкостью, но и фунгицидными свойствами. В самых жестких условиях испытания, после 84 суток хранения образцов известкового штукатурного раствора, зараженных спорами грибов на питательной среде, не произошло их обрастание, установлено полное отсутствие спор грибов. Тогда как на образце гипсовой штукатурки визуально диагностируется сильное обрастание колониями грибов.

Ключевые слова: известь, штукатурный раствор, гипсовая штукатурка, грибостойкость, фунгицидность

MICROBIOLOGICAL RESISTANCE OF LIME-BASED PLASTER MORTAR

**V. E. RUMYANTSEVA^{1,2}, D. A. PANCHENKO³, Ju. F. PANCHENKO³, V. S. KONOVALOVA²,
E. N. MEDVEDEVA³, E. A. SHVAREV¹**

¹ Federal State Budget Educational Establishment of Higher Education
«Ivanovo Fire Rescue Academy of State Firefighting Service of Ministry of Russian Federation
for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters»,
Russian Federation, Ivanovo,

² Federal State Budget Educational Establishment of Higher Education
«Ivanovo State Polytechnic University»,
Russian Federation, Ivanovo,

³ Federal State Budget Educational Establishment of Higher Education « Industrial University of Tyumen»,
Russian Federation, Tyumen

E-mail: varrym@gmail.com, panchenkoda@tyuiu.ru, panchenkojf@tyuiu.ru, kotprotiv@ya.ru,
soloninava@tyuiu.ru, e_shvarev@inbox.ru

The paper presents the results of a study of the fungal resistance of lime plaster in comparison with gypsum and cement plaster. It has been established that plaster mortars based on lime and cement are highly resistant to fungi of the genus *Paecilomyces elegans*, *Aspergillus niger*, *Cladosporium herbarum*, *Verticillium nigrescens*, *Penicillium chrysogenum* in contrast to gypsum plaster where spores were found after 28 days of storage of infected samples in a humid environment mushrooms. Has been lime-based plaster has not only high fungal resistance, but also fungicidal properties. In the harshest test conditions, after 84 days of storage of samples of lime-sand composition infected with fungal spores on the nutrient medium,

their colonization did not occur, was established the complete absence of fungal spores. Whereas on a samples of gypsum plaster was visually diagnosed fungal colonies growth.

Keywords: lime, plaster mortar, gypsum plaster, fungal resistance, fungicidity

Введение

Особую актуальность в последнее время приобретают вопросы биологической стойкости и безопасности строительных материалов, особенно контактирующих с человеком. Накопление в биосфере устойчивых загрязнителей антропогенного происхождения [1] приводит к ухудшению здоровья людей, ослаблению их иммунитета, ухудшению состояния слизистых оболочек. Все это увеличивает восприимчивость организма человека к негативному воздействию патогенных микроорганизмов. Наибольшее количество времени человек проводит в жилых помещениях, поэтому особое внимание необходимо уделять материалам, применяемым для их внутренней отделки. Ни одно из жилых помещений не обходится без штукатурного покрытия. Для каждого вида материала набор возможных биологических воздействий будет определяться условиями его эксплуатации. Для штукатурных покрытий для внутренних работ главным биологическим деструктором являются плесневые грибы.

Степень поражения материалов грибами и, наоборот, грибостойкость, зависит от многих факторов. В первую очередь от вещественного состава [2], наличия питательной среды, на которой происходит заселение и развитие грибов, например, органических химических добавок [3]. Основность среды в большой мере влияет на взаимодействие грибов и субстрата. Грибы преимущественно существуют и развиваются в кислотной среде, высокоосновная среда не позволяет грибам заселяться и размножаться или снижает их вредоносное действие [1, 4]. В связи с этим в составы гипсовых и цементных композиций для повышения их грибостойкости вводят добавки на основе извести [5] и карбоната кальция [6]. Во-вторых, это физическое состояние материала, влажность и температура [7–9]. На первый взгляд эти параметры не зависят от самого материала, а определяются состоянием окружающего воздуха, однако, влажность материала определяется его гигроскопичностью и способностью к влагоотдаче, а температура – коэффициентом теплопроводности и теплоемкостью.

Колонии грибов не только ухудшают внешний вид внутренней отделки, но и оказывают негативное влияние на здоровье человека, вызывая тяжелые формы астмы, микозы

[СП 1.3.2322-08 «Санитарно-эпидемиологические правила»] и другие аллергические реакции [1, 10, 11]. Патогенность спор некоторых видов грибов, например, *Aspergillus*, вообще очень высока и в больших концентрациях может приводить к летальному исходу [12]. Поэтому, грибостойкости материалов, применяемых для внутренней отделки жилых помещений, на наш взгляд, необходимо уделять особое внимание.

С точки зрения воздействия на сам строительный материал вред представляют не сами грибы, а их метаболиты, например, органические кислоты [13–16], которые могут приводить к большим повреждениям. В связи с этим, весьма оправдано оценивать грибостойкость материалов не только по степени обростания колонией грибов, но и по изменению свойств после их воздействия.

Основываясь на теоретических представлениях, можно сделать заключение, что наибольшей стойкостью к плесневым грибам должно обладать штукатурное покрытие на основе извести [17]. Для подтверждения данной гипотезы были проведены исследования грибостойкости известкового штукатурного раствора по сравнению с цементным и гипсовым штукатурными растворами.

Материалы и методы исследования

В исследованиях применялась известковая штукатурная смесь, изготовленная на основе известково-песчаной смеси завода по производству силикатного кирпича и функциональных и технологических добавок [18]. Состав смеси: известково-песчаная смесь с активностью по CaO и MgO 9,5 % – 98 %, редиспергируемый полимерный порошок – 2,0 %, эфир целлюлозы – 0,2 %. В качестве образцов сравнения использовались готовые сухие штукатурные смеси на основе цемента и гипса известных брендов.

Из сухих строительных смесей готовились растворы с подвижностью Пк3, из которых формовались образцы размером 4x4 см, толщиной 2 см (рис. 1). Образцы твердели в течение 28 суток, затем обрабатывались суспензией спор грибов путем 5-ти секундного окунания.

В исследованиях применялись суспензии спор грибов *Paecilomyces elegans* VKM F-1329, *Aspergillus niger* RCAM 02334, *Cladosporium herbarum* VKM F-235, *Verticillium*

nigrescens VKM F-2693, *Penicillium chrysogenum* RCAM 00888 (рис. 2). Использовали суспензию с концентрацией спор каждого вида грибов 105 спор/мл. Суспензию спор готовили отдельно для каждого вида грибов, затем смешивали в равных пропорциях.

Через определенные промежутки времени осуществлялась визуальная оценка обрастания образцов колониями грибов, а также осуществлялось исследование структуры образцов с помощью электронного микроскопа с целью выявления прорастания мицелия грибов. Для количественной оценки наличия спор грибов осуществлялось исследование соскобов путем высева на питательную среду и 7-ми

дневного культивирования. В качестве питательной среды использовали YpSS (табл. 1), приготовленный на водопроводной воде.

Таблица 1. Состав питательной среды

Наименование компонента	Содержание на 1 л
Дрожжевой экстракт	4 г
Агар-агар	12,5г
Крахмал	15 г
KH_2PO_4	1 г
$MgSO_4$	0,5 г

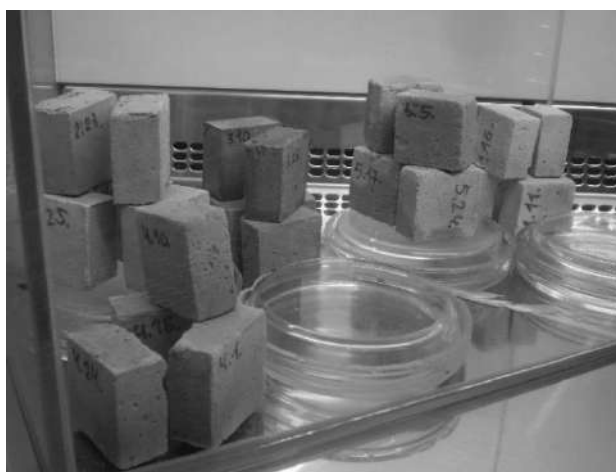


Рис. 1. Образцы штукатурных растворов для исследования грибостойкости

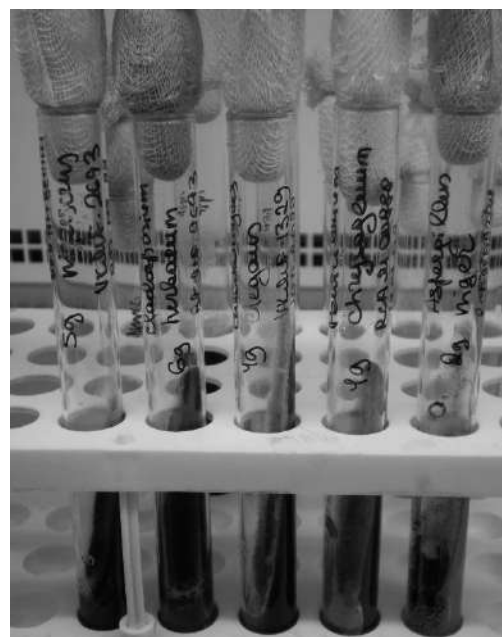


Рис. 2. Приготовление суспензий спор грибов

Результаты исследования

После 28 суток выдерживания зараженных образцов штукатурки в камере-термостате визуальный осмотр, как и осмотр под микроскопом не выявил наличия каких-либо признаков грибковых колоний на поверхности. Однако, по результатам посева соскобов на питательную среду [19] в образцах гипсовой штукатурки обнаружены споры грибов (рис. 3). Далее было продолжено хранение об-

разцов в термостате с целью определения возможности заражения известковой штукатурки спорами грибов от гипсовой и интенсивности развития грибов на гипсовой штукатурке. После 84-х суток выдерживания были проведены повторные исследования соскобов с образцов и установлено, что заражение как известкового, так и цементного штукатурных растворов не произошло.

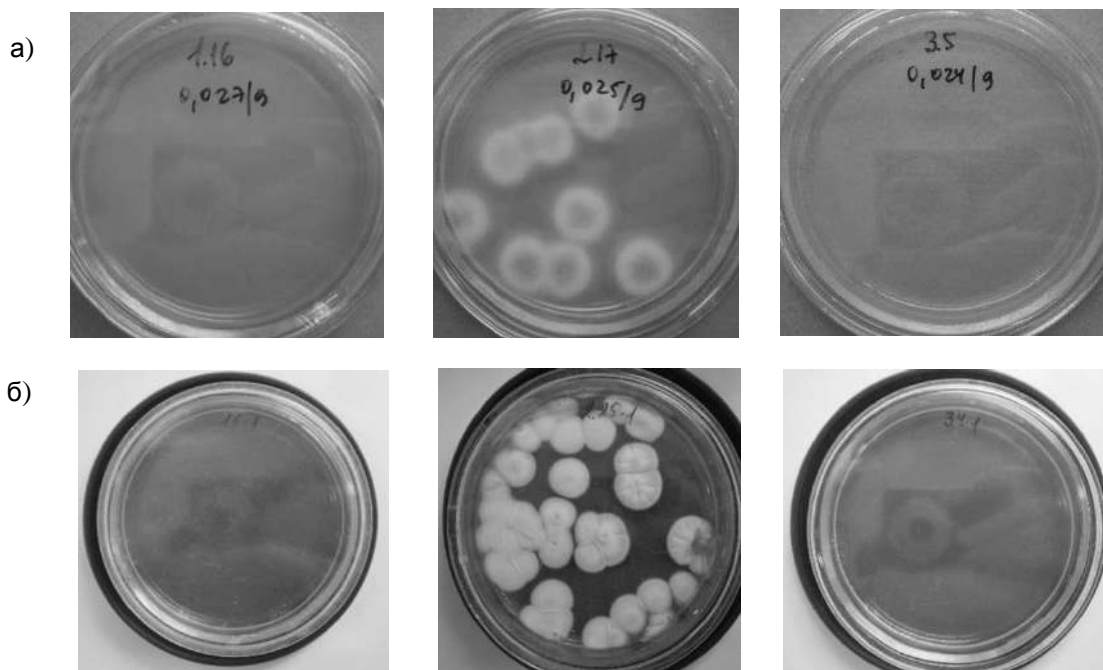


Рис. 3. Результаты посева соскобов штукатурки

1 – известковая штукатурка; 2 – гипсовая штукатурка; 3 – цементная штукатурка.
а) 28 суток; б) 84 суток

Для интенсифицирования роста грибов было выполнено повторное заражение образцов известкового и гипсового штукатурных растворов, затем образцы были помещены на питательную среду. Начало биообрастания гипсового образца визуально отмечено через 28 суток хранения, спустя 84 суток поверхность гипсовой штукатурки была сильно покрыта ко-

лониями грибов, тогда как образец известкового штукатурного раствора визуально оставался чистым (рис. 4). Результаты микроскопического исследования (рис. 5.) и 7-ми дневного культивирования соскобов на питательной среде подтвердили отсутствие мицелия грибов в известковом штукатурном растворе.

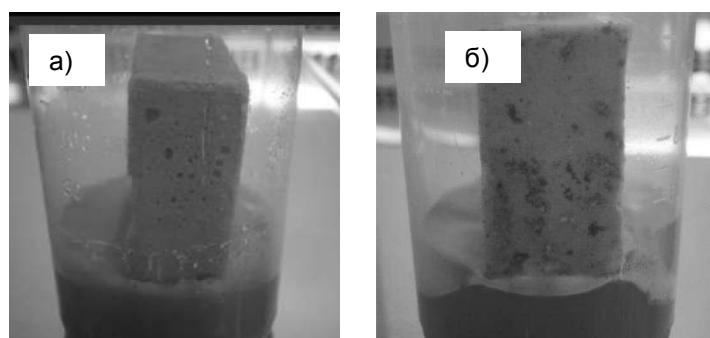


Рис. 4. Образцы штукатурного раствора после 84 сут. хранения на питательной среде.
а) известковая штукатурка; б) гипсовая штукатурка

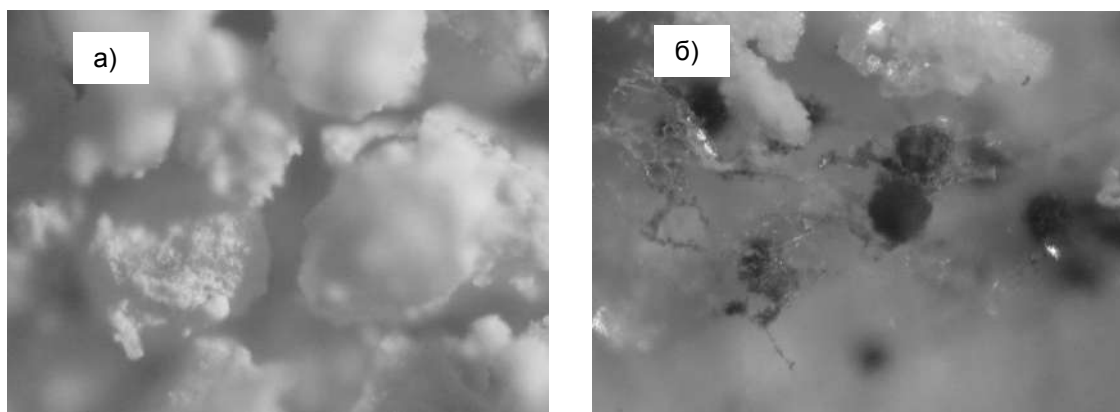


Рис. 5. Микрофотографии образцов штукатурки после 84 сут. хранения на питательной среде
а) известковая штукатурка; б) гипсовая штукатурка

Заключение

Результаты исследования коррелируются с известными научными данными о влиянии рН среды материала на его микробиологическую стойкость. На известково-песчаном растворе не произошло развитие грибов, даже после 84 суток хранения образца

на питательной среде, тогда как на образце гипсовой штукатурки визуально наблюдалось разрастание колоний грибов на более 25 % поверхности. Все это еще раз подтверждает не только высокую грибостойкость штукатурного раствора на основе извести, но и его фунгицидные свойства.

Список литературы

1. Кряжев Д. В. Экологические основы диагностики процессов биодеструкции природных и синтетических полимерных материалов в условиях ряда абиотических факторов внешней среды: дис. ... д-ра биол. наук: 03.02.08. Нижний Новгород, 2014. 325 с.
2. Шаповалов И. В. Биоповреждение строительных материалов плесневыми грибами: автореферат дис. ... канд. техн. наук: 05.23.05. Белгород, 2003. 17 с.
3. Ерофеева И. Исследование грибостойкости и фунгицидности цементных композитов в среде мицелиальных грибов // Русский инженер. 2018. № 2 (59). С. 44–47.
4. Негода Л. Л. Повышение грибостойкости отделочных растворов на основе гипсовых вяжущих за счет применения нанотехногенного сырья // Традиции и инновации в строительстве и архитектуре. Естественные науки и техносферная безопасность: сборник статей по материалам 72-й Всероссийской научно-технической конференции. Самара: Самарский государственный архитектурно-строительный университет. 2015. С. 156–159.
5. Грибостойкость некоторых строительных материалов. Сравнительное исследование / И. Э. Павлова, А. А. Маметьева, Г. А. Чилина [и др.] //

- Проблемы медицинской микологии. 2011. Т. 13. № 4. С. 35–38.
6. Шарафутдинов К. Б. Исследование грибостойкости цементного камня // Химия. Экология. Урбанистика. 2021. Т. 3. С. 223–227.
7. Арашкова А. А. Грибостойкость строительных блоков в условиях модельного эксперимента // Весці Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі. Серыя біялагічных навук. 2019. Т. 64, № 1. С. 96–101.
8. Негода Л. Л., Смирнов В. Ф., Курмаева Т. С. Оценка грибостойкости различных строительных материалов при изучении экологии плесневых грибов // Традиции и инновации в строительстве и архитектуре. Строительство: сборник статей. Самара: Самарский государственный технический университет. 2019. С. 845–849.
9. Испытания на микробиологическую стойкость в натуральных условиях различных климатических зон / А. В. Полякова, А. А. Кривушина, Ю. С. Горяшник [и др.] // Труды ВИАМ. 2016. № 4 (40). С. 97–105
10. Елинов Н. П. Токсигенные грибы в патологии человека // Проблемы медицинской микологии. 2002. Том.4, № 4. С. 3–6.
11. Семенов С. А. Биоповреждения материалов и изделий техники // Вестник МИХТ. 2007, №6. Т. 2. С. 3–26.
12. Экологические аспекты биокоррозии и повышение биостойкости строительных материалов / В. Ф. Смирнов, Д. А. Светлов,

М. М. Зоткина [и др.] // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Материалы. Конструкции. Технологии. 2021. № 4. С. 14–26. DOI: 10.25686/2542-114X.2021.4.14.

13. Защита строительных материалов и конструкций от повреждений микромицетами / В. Т. Фомичев, С. В. Камкова, И. А. Куликова [и др.] // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2021. № 4 (85). С. 183–191.

14. Рыкунова М. Д., Карнаухова М. Д., Кривошапов А. А. К вопросу о существующих способах оценки грибостойкости строительных композитов // Образование. Наука. Производство: материалы X Международного молодежного форума с международным участием. Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова. 2018. С. 522–527.

15. Федосов С. В., Румянцева В. Е., Логинова С. А. Исследование процессов массопереноса при биокоррозии бетона // Фундаментальные, поисковые и прикладные исследования РААСН по научному обеспечению развития архитектуры, градостроительства и строительной отрасли Российской Федерации в 2020 году: сборник научных трудов РААСН: в 2 томах. М.: Российская академия архитектуры и строительных наук (РААСН). 2021. С. 299–303.

16. Румянцева В. Е., Панченко Д. А., Панченко Ю. Ф. Разработка состава сухой штукатурной смеси на основе извести // Архитектура, строительство, транспорт. 2022. № 2. С. 39–46. DOI: 10.31660/2782-232X-2022-2-39-46.

17. Василенко М. И., Гончарова Е. Н., Шоева Е. А. Создание грибостойких покрытий с использованием отходов производств // Энерго- и ресурсосберегающие экологически чистые химико-технологические процессы защиты окружающей среды: сборник докладов международной научно-технической конференции. Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова. 2015. С. 23–29.

18. Оптимизация составов на гашеной извести по показателю биологической стойкости / Ю. М. Баженов, В. Т. Ерофеев, С. В. Хуторской [и др.] // Промышленное и гражданское строительство. 2015. № 2. С. 28–32.

19. Еремеева С. В. Плесневые грибы. Методы выделения, идентификации, хранения: Справочное пособие для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлениям и специальностям экологического,

биологического и биотехнологического профиля. Астрахань: АГТУ, 2009. 104 с.

References

1. Kryazhev D. V. *Ekologicheskie osnovy diagnostiki processov biodestrukcii prirodnyh i sinteticheskikh polimernykh materialov v usloviyah ryada abioticheskikh faktorov vneshnej sredy*. Diss. d-ra biol. nauk. [Ecological bases for diagnosing the processes of biodegradation of natural and synthetic polymeric materials under conditions of a number of abiotic environmental factors. Dr. biol. sci. diss.]. Nizhny Novgorod, 2014. 325 p.

2. Shapovalov I. V. *Biopovrezhdenie stroitel'nykh materialov plesnevymi gribami: special'nost'*. Avtoreferat diss. kand. tekhn. nauk. [Biodamage of building materials by mold fungi. Cand. of tech. sci. diss. abstract]. Belgorod. 2003. 17 p.

3. Erofeeva I. *Issledovanie gribostojkosti i fungicidnosti cementnykh kompozitov v srede micelial'nykh gribov*. [Study of fungi resistance and fungicidal activity of cement composites in the environment of filamentous fungi]. *Russkiy inzhener*, 2018, vol. 2 (59), pp. 44–47.

4. Negoda L. L. *Povyshenie gribostojkosti otdelochnykh rastvorov na osnove gipsovykh vyazhushchih za schet primeneniya nanotekhnogennoho syr'ya*. [Improving the fungus resistance of finishing mortars based on gypsum binders through the use of nanotechnogenic raw materials]. *Traditsii i innovatsii v stroitel'stve i arkhitekture. Yestestvennyye nauki i tekhnosfernaya bezopasnost': sbornik statey po materialam 72-y Vserossiyskoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii*. Samara: Samarskiy gosudarstvennyy arkhitekturno-stroitel'nyy universitet, 2015, pp. 156–159.

5. *Gribostojkost' nekotorykh stroitel'nykh materialov. Sravnitel'noe issledovanie*. [Fungus resistance of some building materials. Comparative study] / I. E. Pavlova, A. A. Mametyeva, G. A. Chilina [et al.]. *Problemy meditsinskoy mikologii*, 2011, vol. 13, issue 4, pp. 35–38.

6. Sharafutdinov K. B. *Issledovanie gribostojkosti cementnogo kamnya*. [Study of the fungus resistance of cement stone]. *Himiya. Ekologiya. Urbanistika*, 2021, vol. 3, pp. 223–227.

7. Arashkova A. A. *Gribostojkost' stroitel'nykh blokov v usloviyah model'nogo eksperimenta*. [Mushroom resistance of building blocks under the conditions of a model experiment]. *Vesci nacyjanal'noj akademiі navuk Belarusi. Seryja bijalagichnykh navuk*, 2019, vol. 64, issue 1, pp. 96–101.

8. Negoda L. L., Smirnov V. F., Kurmaeva T. S. *Ocenka gribostojkosti razlichnykh stroitel'nykh materialov pri izuchenii ekologii*

plesnevyyh gribov. [Evaluation of the fungus resistance of various building materials in the study of the ecology of mold fungi]. *Traditsii i innovatsii v stroitel'stve i arkhitekture. Yestestvennyye nauki i tekhnosfernaya bezopasnost': sbornik statey po materialam 72-y Vserossiyskoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii. Samara: Samarskiy gosudarstvennyy arkhitekturno-stroitel'nyy universitet*, 2019, pp. 845–849.

9. Ispytaniya na mikrobiologicheskuyu stojkost' v naturnykh usloviyakh razlichnykh klimaticheskikh zon. [Tests for microbiological stability in natural conditions of various climatic zones] / A. V. Polyakova, A. A. Krivushina, Yu. S. Goryashnik [et al.]. *Trudy VIAM*, 2016, vol. 4 (40), pp. 97–105.

10. Elinov N. P. Toksigennyye griby v patologii cheloveka. [Toxicogenic fungi in human pathology]. *Problemy meditsinskoy mikologii*, 2002, vol. 4, issue 4, pp. 3–6.

11. Semenov S. A. Biopovrezhdeniya materialov i izdelij tekhniki. [Biodeterioration of materials and equipment products]. *Vestnik MIKHT*, 2007, vol. 2, issue 6, pp. 3–26.

12. Ekologicheskie aspekty biokorrozii i povyshenie biostojkosti stroitel'nykh materialov. [Ecological aspects of biocorrosion and increasing the biostability of building materials] / V. F. Smirnov, D. A. Svetlov, M. M. Zotkina [et al.]. *Vestnik Povolzhskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta. Seriya: Materialy. Konstruktsii. Tekhnologii*, 2021, issue 4, pp. 14–26.

13. Zashchita stroitel'nykh materialov i konstrukcij ot povrezhdenij mikromicetami. [Protection of building materials and structures from damage by micromycetes] / V. T. Fomichev, S. V. Kamkova, I. A. Kulikova [et al.]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arkhitektura*, 2021, vol. 4 (85), pp. 183–191.

14. Rykunova M. D., Karnaukhova M. D., Krivoshapov A. A. K voprosu o sushchestvuyushchih sposobah ocenki gribostojkosti stroitel'nykh kompozitov. [The question of existing methods for assessing the fungus resistance of building composites]. *Obrazovaniye. Nauka. Proizvodstvo: materialy X Mezhdunarodnogo molodezhnogo foruma s mezhdunarodnym uchastiyem*. Belgorod: Belgorodskiy gosudarstvennyy tekhnologicheskii

universitet im. V. G. Shukhova. 2018, pp. 522–527.

15. Fedosov S. V., Rumyantseva V. E., Loginova S. A. Issledovanie processov massoperenosa pri biokorrozii betona. [Study of mass transfer processes during biocorrosion of concrete]. *Fundamental'nyye, poiskovyie i prikladnyye issledovaniya RAASN po nauchnomu obespecheniyu razvitiya arkhitekturnykh gradostroitel'stva i stroitel'noy otrasli Rossiyskoy Federatsii v 2020 godu: sbornik nauchnykh trudov RAASN: v 2 tomakh*. Moscow: Rossiyskaya akademiya arkhitekturnykh nauk (RAASN). 2021, pp. 299–303.

16. Rumyantseva V. E., Panchenko D. A., Panchenko Yu. F. Razrabotka sostava suhoj shtukaturnoj smesi na osnove izvesti. [Development of a dry plaster mix based on lime]. *Arkhitektura, stroitel'stvo, transport*, 2022, issue 2, pp. 39–46. DOI: 10.31660/2782-232X-2022-2-39-46

17. Vasilenko M. I., Goncharova E. N., Shoeva E. A. Sozdanie gribostojkikh pokrytij s ispol'zovaniem othodov proizvodstv. [Creation of fungus-resistant coatings using production waste]. *Energo- i resursosberegayushchiye ekologicheski chistyie khimiko-tekhnologicheskiye protsessy zashchity okruzhayushchey sredy: sbornik dokladov mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii*. Belgorod: Belgorodskiy gosudarstvennyy tekhnologicheskii universitet im. V. G. Shukhova, 2015, pp. 23–29.

18. Optimizatsiya sostavov na gashenocj izvesti po pokazatelyu biologicheskoy stojkosti. [Optimization of compositions on slaked lime in terms of biological stability]. / Yu. M. Bazhenov, V. T. Erofeev, S. V. Khutorskoy [et al.]. *Promyshlennoye i grazhdanskoye stroitel'stvo*, 2015, issue 2, pp. 28–32.

19. Ereemeeva S. V. Plesnevyye griby. Metody vydeleniya, identifikatsii, khraneniya: Spravochnoye posobiye dlya studentov vysshikh uchebnykh zavedeniy, obuchayushchikhsya po napravleniyam i spetsial'nostyam ekologicheskogo, biologicheskogo i biotekhnologicheskogo profilya [Molds. Methods of isolation, identification, storage A reference guide for students of higher educational institutions studying in areas and specialties of ecological, biological and biotechnological profile]. Astrakhan': AGTU, 2009. 104 p.

Румянцева Варвара Евгеньевна

доктор технических наук, профессор, член-корреспондент РААСН

Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,

Российская Федерация, г. Иваново

профессор кафедры естественнонаучных дисциплин

ФГБОУ ВО Ивановский государственный политехнический университет,

Российская Федерация, г. Иваново

директор Института информационных технологий, естественных и гуманитарных наук, зав. кафедрой естественных наук и техносферной безопасности

E-mail: varrym@gmail.com

Rumyantseva Varvara Evgenievna

doctor of technical sciences, professor, corresponding member of the RAACS

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

Russian Federation, Ivanovo

professor of the department of natural sciences

Federal State Budget Educational Establishment of Higher Education «Ivanovo State Polytechnic University»,

Russian Federation, Ivanovo

director of the Institute of information technology, natural sciences and humanities, head of the department of natural sciences and technosphere safety

E-mail: varrym@gmail.com

Панченко Дмитрий Алексеевич

ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет»

Российская Федерация, г. Тюмень

старший преподаватель кафедры строительных материалов

E-mail: panchenkoda@tyuiu.ru.

Panchenko Dmitrii Alekseevich

Tyumen Industrial University

Russian Federation, Tyumen

Senior Lecturer of the Construction Materials Department

E-mail: panchenkoda@tyuiu.ru.

Панченко Юлия Федоровна

ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет»,

Российская Федерация, г. Тюмень

кандидат технических наук, доцент кафедры строительных материалов

E-mail: panchenkojf@tyuiu.ru

Panchenko Yuliya Fyodorovna

Tyumen Industrial University

Russian Federation, Tyumen

candidate of technical sciences, docent of the Construction Materials Department

E-mail: panchenkojf@tyuiu.ru

Коновалова Виктория Сергеевна

ФГБОУ ВО Ивановский государственный политехнический университет,

Российская Федерация, г. Иваново

кандидат технических наук, доцент кафедры естественных наук и техносферной безопасности

E-mail: kotprotiv@yandex.ru

Konovalova Viktoriya Sergeevna

Federal State Budget Educational Establishment of Higher Education «Ivanovo State Polytechnic University»,

Russian Federation, Ivanovo

candidate of technical sciences, docent of the department of natural sciences and technosphere safety

E-mail: kotprotiv@yandex.ru

Медведева Эльза Назифовна

ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет»,

Российская Федерация, г. Тюмень

кандидат технических наук, доцент кафедры строительных материалов

E-mail: medvedevaen1@tyuiu.ru

Medvedeva Elza Nazifovna

Tyumen Industrial University

Russian Federation, Tyumen

candidate of technical sciences, docent of the Construction Materials Department

E-mail: medvedevaen1@tyuiu.ru

Шварев Евгений Анатольевич

Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,

Российская Федерация, г. Иваново

доцент кафедры естественнонаучных дисциплин, кандидат технических наук, доцент

E-mail: e_shvarev@inbox.ru

Shvarev Evgeny Anatolevich

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

Russian Federation, Ivanovo

docent of the department of natural sciences, candidate of technical sciences, associate professor

E-mail: e_shvarev@inbox.ru

ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ

К рассмотрению принимаются рукописи в электронном формате документа Microsoft Word (*.doc, *.docx). Файлы высылаются по адресу: journal@edufire37.ru

Статьи должны полностью соответствовать специальности журнала.

Обязательно указание места работы всех авторов, их должностей и контактной информации.

В статье указывается шифр основной специальности, по которой выполнена работа.

При направлении материалов в редакцию по электронной почте в одном письме направляются:

- файл статьи в формате MS Word;
- внешняя рецензия, заверенная в установленном в организации порядке (рецензенты и авторы статей не должны находиться в должностных отношениях);
- сканированная копия сопроводительного письма.

ТРЕБОВАНИЯ К ПОДГОТОВКЕ СТАТЕЙ

Обязательные элементы рукописи:

УДК, аннотация, ключевые слова, текст статьи.

Аннотация должна иметь объем 150–200 слов, а её содержание – отражать структуру статьи.

Минимальный объем ключевых слов – 5. Ключевые слова отделяются друг от друга точкой с запятой.

В структуру статьи должны входить: введение (краткое), цель исследования, материал и методы исследования, результаты исследования и их обсуждение, выводы или заключение, список литературы.

Структура размещения статьи в журнале:

- Блок 1 – на русском языке: УДК; название статьи; автор(ы); адресные данные авторов (полное юридическое название организации, адрес организации, адрес электронной почты всех или одного автора); аннотация; ключевые слова;
- Блок 2 – транслитерация и перевод на английский язык соответствующих данных Блока 1 в той же последовательности: название статьи – на английском языке; авторы – на латинице (транслитерация); название организации, адрес организации, аннотация, ключевые слова – на английском языке;
- Блок 3 – полный текст статьи на языке оригинала (русском), оформленный в соответствии с действующими требованиями Журнала;
- Блок 4 – список литературы на русском языке (название «Список литературы»);
- Блок 5 – список литературы в романском алфавите (название References). Если список литературы состоит только из англоязычных источников, то Блок 5 может отсутствовать.
- Блок 6 – сведения об авторах на русском и английском языках.

Технические требования к оформлению

Рукописи представляются в формате А4. Объем представляемых рукописей (с учетом пробелов):

- статьи – до 20 тысяч знаков;
- обзора – до 60 тысяч знаков;
- краткого сообщения – до 10 тысяч знаков.

Оформление текста статьи:

- для набора используется шрифт Arial, размер шрифта – 10;
- отступ первой строки абзаца 1,25 см;
- все поля 2 см;
- все аббревиатуры и сокращения должны быть расшифрованы при первом использовании;
- недопустимо использование расставленных вручную переносов.

Оформление формул, рисунков и таблиц:

• формулы набираются в редакторе формул Microsoft Equation 3.0 или Math Type 5.0-6.0 Equation (шрифт Arial), размер шрифта – 10. Пояснения к формулам (экспликации) должны быть набраны в подбор (без использования красной строки). Формулы нумеруют в круглых скобках по правому краю страницы;

- в тексте статьи обязательно должны содержаться ссылки на таблицы, рисунки, графики;

• графики, рисунки и фотографии монтируются в тексте после первого упоминания о них. Количество графического материала должно быть минимальным (не более 5 рисунков). Буквы и цифры на рисунке должны быть разборчивы, оси на графиках подписаны. Рисунки и фотографии следует представлять в черно-белом варианте; они должны иметь хороший контраст и разрешение. Рисунки в виде ксерокопий из книг и журналов, а также плохо отсканированные не принимаются. Рисунки обяза-

тельно должны быть сгруппированы (т.е. не должны «разваливаться» при перемещении и форматировании);

- подрисуночные подписи размещаются по центру;
- названия рисунков даются под ними после слова «Рис.» с порядковым номером. Слово «Рис.» с порядковым номером пишется полужирно, название рисунка – с прописной буквы, обычным шрифтом: **Рис. 1.** Отдельные элементы дымопроницаемой мембраны в сложенном состоянии;
- если рисунок в тексте один, номер не ставится: **Рисунок.** Статистика пожаров, произошедших на различных объектах;
- подрисуночные подписи не входят в состав рисунка, а располагаются отдельным текстом под иллюстрацией. Если на рисунке вводятся новые (ранее не встречавшиеся в тексте) обозначения, они должны быть расшифрованы в подрисуночной подписи; также здесь поясняются элементы, обозначенные на рисунке цифрами. Рекомендуемая ширина рисунков не более 7,5 см;
- ссылки в тексте на таблицы пишутся: «табл.», «табл. 1»;
- слово «Таблица» с порядковым номером и названием размещается по центру. Слово «Таблица» набирается курсивом, название таблицы выделяется полужирно: *Таблица 1. Экспериментальные данные по допустимым срокам непрерывной продолжительности работы в изолирующих термоагрессивостойких костюмах для пожарных;*
- единственная в статье таблица не нумеруется: *Таблица. Анализ оборудования для задачи воздушно-механической пены;*
- по возможности следует избегать использования рисунков и таблиц, размер которых требует альбомной ориентации страницы;
- поворот рисунков и таблиц в вертикальную ориентацию недопустим;
- текст статьи не должен заканчиваться таблицей, рисунком или формулой.

Правила оформления списка литературы

После текста статьи приводится список литературы, оформленный в строгом соответствии с ГОСТ Р 7.0.5-2008.

Источники указываются в порядке цитирования в тексте. На все источники из списка литературы должны быть ссылки в тексте.

В список литературы включаются только научные и приравненные к ним публикации (статьи, монографии, учебные издания, патенты на изобретения, авторские свидетельства). Ссылки на нормативные документы (законы, постановления, стандарты) должны оформляться как подстрочные сноски.

В статье должны быть представлены два варианта списка использованной литературы:

- список на русском языке. Для изданий на русском языке обязательна транслитерация оригинального названия и перевод названия на английский язык (в квадратных скобках); тире, а также символ // в описании на английском языке не используются;
- список в романском алфавите (References). В References при переводе статьи на английский названия изданий и журналов не переводятся, используется транслитерация.

Для изданий на английском языке транслитерация не производится.

Если есть, обязательно указывается DOI.

СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ГРАЖДАНСКОЙ ЗАЩИТЫ
№ 3 (48), 2023

16+

Дата выхода в свет 28.09.2023 г. Бумага офсетная. Печать цифровая.
Формат 60 × 90 1/8. Усл. печ. л. 22,1. Тираж 100 экз.
Заказ № 88. Цена свободная

Оригинал-макет подготовлен
Ивановской пожарно-спасательной академией ГПС МЧС России
АДРЕС РЕДАКЦИИ (ИЗДАТЕЛЯ): 153040, г. Иваново, проспект Строителей, д. 33;
тел.: (4932) 93-08-00, доб. 1560; e-mail: journal@edufire37.ru

Отпечатано в АО «Информатика»
153032, г. Иваново, ул. Ташкентская, 90