

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
(технические и химические
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»

№ 2 (55), 2025



СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ГРАЖДАНСКОЙ ЗАЩИТЫ

Научный журнал

Издаётся с 2011 года

Выходит 4 раза в год

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, зарубежные страны.

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.

Переписка 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:** Шарбанова 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)
Никифоров Александр Леонидович, доктор технических наук, старший научный сотрудник
Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России (Россия, г. Иваново)
- Научный редактор:** Ульянов Дмитрий Андреевич, кандидат технических наук, доцент,
Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России (Россия, г. Иваново)

Члены редколлегии:

- Акулова Марина Владимировна — д-р техн. наук, профессор, советник РААСН, заведующая кафедрой архитектуры и урбанистики ФГБОУ ВО «Ивановский государственный политехнический университет» (Россия, г. Иваново)
- Алексеев Михаил Иванович — д-р техн. наук, профессор, академик РААСН, профессор ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет» (Россия, г. Санкт-Петербург)
- Барбин Николай Михайлович — д-р техн. наук, доцент, ведущий научный сотрудник научно-исследовательского отделения УНК ПИПАСР ФГБОУ ВО «Уральский институт ГПС МЧС России» (Россия, г. Екатеринбург)
- Баусов Алексей Михайлович — д-р техн. наук, профессор, профессор кафедры пожарной безопасности объектов защиты (в составе УНК «Государственный надзор») 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, почетный работник высшего профессионального образования РФ, главный научный сотрудник, профессор кафедры технологии керамики и электрохимических производств 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)
- Гринченко Борис Борисович — канд. техн. наук, доцент кафедры пожарной-строевой, физической подготовки и ГДЗС (в составе УНК «Пожаротушение») Ивановской пожарно-спасательной академии ГПС МЧС России (Россия, г. Иваново)
- Ерофеев Владимир Трофимович — д-р техн. наук, профессор, академик РААСН, профессор кафедры строительного материаловедения НИУ МГСУ (Россия, г. Москва)
- 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, доцент, профессор кафедры 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)
- Лазарев Александр Александрович — канд. пед. наук, канд. техн. наук, доцент, начальник кафедры правового обеспечения надзорной деятельности (в составе УНК «Государственный надзор») Ивановской пожарно-спасательной академии ГПС МЧС России (Россия, г. Иваново)
- Лопанов Александр Николаевич — д-р техн. наук, профессор, директор Регионального учебно-методического центра 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)
- Овчинников Александр Александрович — канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры естественнонаучных дисциплин Ивановской пожарно-спасательной академии ГПС МЧС России (Россия, г. Иваново)
- Присадов Владимир Иванович — д-р техн. наук, профессор, академик Национальной академии наук пожарной безопасности, главный научный сотрудник ФГБУ ВНИИПО МЧС России (Россия, г. Балашиха)
- Румянцев 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)
- Семенов Алексей Олегович — канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры основ гражданской обороны и управления в ЧС Ивановской пожарно-спасательной академии ГПС МЧС России (Россия, г. Иваново)
- Соколов Александр Михайлович — д-р техн. наук, доцент, советник РААСН, профессор кафедры высоковольтной электроэнергетики, электротехники и электрофизики ФГБОУ ВО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина» (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 ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский 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, профессор кафедры пожарной и промышленной безопасности ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет» (Россия, г. Уфа)
- Циркина Ольга Германовна — д-р техн. наук, доцент, профессор кафедры пожарной безопасности объектов защиты (в составе УНК «Государственный надзор») Ивановской пожарно-спасательной академии ГПС МЧС России (Россия, г. Иваново)
- 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

Дата выхода в свет 27.06.2025 г. Формат 60х90 1/8. Усл. печ. л. 16. Тираж 100 экз. Заказ № 595.

Реестровая запись от 15.11.2022 серия ПИ № ФС77-84179

(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, 2025

СОДЕРЖАНИЕ / CONTENTS

Данилов П. В., Горский В. Е., Шарабанов Н. А. Конвергентные среды VR/AR/MR: интеграция технологий и трансформация взаимодействия человека с цифровой средой.....	5
Danilov P. V., Gorskiy V. E., Sharabanov N. A. Convergent VR/AR/MR environments: technology integration and transformation of human interaction with the digital environment	5

**ВОДОСНАБЖЕНИЕ, КАНАЛИЗАЦИЯ, СТРОИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ ОХРАНЫ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ
(ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ)
WATER SUPPLY, SEWER SYSTEM, CONSTRUCTION SYSTEMS OF PROTECTION OF WATER
RECOURCES (TECHNICAL)**

Натареев С. В., Ларина А. И., Фролова Т. В. Очистка воды от ионов меди в односекционном аппарате конической формы с псевдооживленным слоем катионита.....	16
Natareev S. V., Larina A. I., Frolova T. V. Water purification from copper ions in a single-section conical apparatus with a fluidised bed of cationite.....	16

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

Бубнов В. Б., Репин Д. С. Математическое описание рабочих характеристик насосов в противопожарном водоснабжении при различных способах регулирования	24
Bubnov V. B., Repin D. S. Mathematical description of operating characteristics of pumps in fire-fighting water supply with various regulation methods.....	24
Гринченко Б. Б., Иванов В. Е. Влияние средств защиты рук газодымозащитников на мышечную силу хвата при эксплуатации спасательного устройства	32
Grinchenko B. B., Ivanov V. E. Influence of firefighters' hand protection on muscle grip strength when operating a rescue device.....	32
Губанов А. П., Бубнов А. Г., Семенов А. Д., Сараев И. В. Анализ конструктивных особенностей и способов заполнения пенобака пожарного автомобиля.....	40
Gubanov A. P., Bubnov A. G., Semenov A. D., Saraev I. V. Analysis of design features and methods of filling the foam tank of a fire truck.....	40
Клушин А. Н., Циркина О. Г., Спиридонова В. Г., Пестов И. В. Термическая стабильность и огнестойкость волокнистых материалов: научный анализ отечественного и зарубежного опыта исследований.....	48
Klushin A. N., Tsirkina O. G., Spiridonova V. G., Pestov I. V. Thermal stability and fire resistance of fibrous materials: scientific analysis of domestic and foreign research experience	48
Марахов П. А., Порошин А. А., Кондашов А. А., Удавцова Е. Ю., Бобринев Е. В., Шавырина Т. А. Изучение взаимосвязи ресурсной обеспеченности объектового подразделения пожарной охраны и факторов, определяющих пожарную опасность объектов промышленной сферы.....	58
Marakhov P. A., Poroshin A. A., Kondashov A. A., Udavtsova E. Y., Bobrinev E. V., Shavyrina T. A. The study of the relationship between the resource security of the fire department and the factors determining the fire hazard of industrial facilities	58
Ульева С. Н., Богданов И. А., Никифоров А. Л. Установка для моделирования термического старения изоляционных материалов кабельных изделий	68
Ul'eva S. N., Bogdanov I. A., Nikiforov A. L. Installation for modeling thermal aging of insulating materials of cable products	68
Хафизов И. Ф., Султанов Р. М., Бакиров Д. Р., Бакиров Р. Х., Спыну Е. А. Исследование деградации ингибиторов под воздействием кавитации и ее последствия для обеспечения пожарной безопасности объектов	74
Khafizov I. F., Sultanov R. M., Bakirov D. R., Bakirov R. H., Spynu E. A. Study of inhibitor degradation under the influence of cavitation and its implications for fire safety of facilities	74

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

- Румянцева В. Е., Панченко Ю. Ф., Панченко Д. А., Нармания Б. Е., Фролова Т. В.** Исследование коррозионной деструкции кирпичных строительных материалов при комплексном воздействии растворов солей и попеременного замораживания-оттаивания 82
Rumyantseva V. E., Panchenko D. A., Panchenko Yu. F., Narmania B. E., Frolova T. V. Research of corrosion destruction of building bricks under the combined action of salt solutions and alternating freezing and thawing 82
- Румянцева В. Е., Панченко Д. А., Панченко Ю. Ф., Фролова Т. В., Смирнов Д. А.** Сухая штукатурная смесь на основе воздушной извести 89
Rumyantseva V. E., Panchenko D. A., Panchenko Yu. F., Frolova T. V., Smirnov D. A. Dry plaster mix based on air lime 89

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

- Зейнетдинова О. Г., Данилов П. В.** Совершенствование системы поддержки принятия решений для обеспечения безопасности населения и аварийно-спасательных формирований при авариях на АЭС 96
Zeynetdinova O. G., Danilov P. V. Improving the decision support system to ensure the safety of the public and emergency rescue teams in case of accidents at nuclear power plants 96
- Шалявин Д. Н., Шипилов Р. М., Новиков А. М., Сабанчина Р. Р.** Методика проведения тренировочных занятий с повторной нагрузкой при профессиональной подготовке специалистов пожарной безопасности 105
Shalavin D. N., Shipilov R. M., Novikov A. M., Sabanchina R. R. The methodology of conducting training sessions with repeated load in the professional training of fire safety specialists 105

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ (ТЕХНИЧЕСКИЕ И ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ)
ECOLOGICAL SAFETY (TECHNICAL AND CHEMICAL)

- Манжилевская С. Е.** Оценка негативного воздействия мелкодисперсной пыли на городскую территорию от точечной застройки 116
Manzhilevskaya S. E. Assessment of the negative impact of fine dust on urban territory from point development 116

УДК 614.8

КОНВЕРГЕНТНЫЕ СРЕДЫ VR/AR/MR: ИНТЕГРАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЙ И ТРАНСФОРМАЦИЯ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ЧЕЛОВЕКА С ЦИФРОВОЙ СРЕДОЙ

П. В. ДАНИЛОВ¹, В. Е. ГОРСКИЙ¹, Н. А. ШАРАБАНОВ²

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

² ФГБОУ ВО «Ивановский государственный энергетический университет имени В. И. Ленина»
Российская Федерация, г. Иваново
E-mail: kog@edufire37.ru, nsharabanov@bk.ru

Статья посвящена анализу интеграции технологий виртуальной (VR), дополненной (AR) и смешанной (MR) реальности при разработке информационного и программного обеспечения систем управления и механизмов принятия решений в организационных системах, а также их влиянию на современное взаимодействие человека с цифровой средой. В исследовании рассматриваются исторические этапы развития VR, AR и MR, ключевые достижения и научные открытия, сыгравшие решающую роль в их эволюции. Особое внимание уделяется принципам и методам интеграции этих технологий, а также техническим аспектам, таким как аппаратные решения, программное обеспечение и методы передачи данных.

Рассматривается трансформация восприятия и взаимодействия человека с цифровыми объектами в результате внедрения конвергентных технологий. Приводятся примеры успешного применения интегрированных решений в различных отраслях, таких как образование, медицина, производство, которые требуют решения вопросов управления организационными системами.

Завершается статья рассмотрением перспектив и направлений дальнейших исследований, необходимых для устранения существующих ограничений и продвижения интегрированных технологий.

Ключевые слова: виртуальная реальность (VR), дополненная реальность (AR), смешанная реальность (MR), интеграция технологий, взаимодействие человека с цифровой средой.

CONVERGENT VR/AR/MR ENVIRONMENTS: TECHNOLOGY INTEGRATION AND TRANSFORMATION OF HUMAN INTERACTION WITH THE DIGITAL ENVIRONMENT

P. V. DANILOV¹, V. E. GORSKIJ¹, N. A. SHARABANOV²

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 Power Engineering University named after V. I. Lenin»,
Russian Federation, Ivanovo
E-mail: kog@edufire37.ru, nsharabanov@bk.ru

The article is devoted to the analysis of the integration of virtual (VR), augmented (AR) and mixed (MR) reality technologies in the development of information and software management systems and decision-making mechanisms in organizational systems, as well as their impact on modern human interaction with the digital environment. The study examines the historical stages of the development of VR, AR and MR, key achievements and scientific discoveries that played a crucial role in their evolution. Special attention is paid to the principles and methods of integrating these technologies, as well as technical aspects such as hardware solutions, software, and data transmission methods.

The transformation of human perception and interaction with digital objects as a result of the introduction of convergent technologies is considered. Examples of successful application of integrated solutions in various industries, such as education, medicine, and manufacturing, which require solving organizational system management issues, are given.

The article concludes with a review of the prospects and directions of further research necessary to eliminate existing limitations and promote integrated technologies.

Keywords: virtual reality (VR), augmented reality (AR), mixed reality (MR), technology integration, human interaction with the digital environment.

Введение

Современные технологии стремительно меняют способы нашего взаимодействия с окружающим миром, стирая границы между физической и цифровой реальностью. В последние десятилетия наблюдается бурное развитие виртуальной реальности (VR), дополненной реальности (AR) и смешанной реальности (MR). Каждая из этих технологий обладает уникальными характеристиками и находит свое применение в различных областях человеческой деятельности, в том числе в образовательном процессе высших учебных заведений МЧС России. Однако наиболее интересные возможности открываются именно при их интеграции, когда создаются конвергентные среды, позволяющие человеку взаимодействовать с цифровыми объектами в привычной физической среде. Данная статья посвящена исследованию процессов интеграции VR, AR и MR, рассмотрению того, каким образом эти процессы трансформируют наше взаимодействие с цифровой средой, а также применению данных технологий в профессиональном образовании.

Интеграция технологий виртуальной (VR), дополненной (AR) и смешанной (MR) реальностей представляет собой одну из ключевых тенденций современного технологического прогресса. Эта область приобретает особую значимость ввиду её потенциала кардинально изменить повседневную жизнь людей, производственные процессы и образовательные практики. Благодаря слиянию этих технологий становится возможным создание гибридных пространств, в которых физические объекты сочетаются с цифровыми элементами, что открывает новые горизонты для интерактивного взаимодействия, визуализации сложных данных и моделирования реальных ситуаций.

На сегодняшний день применение конвергентных технологий уже широко распространено в таких секторах как медицина, инженерия, розничная торговля и развлечения. Однако остаются нерешенными важные вопросы, касающиеся технической реализации, стандартизации и социальных последствий. Исследование этих аспектов позволяет лучше понять потенциал и вызовы, связанные с развитием конвергентных сред, а также разработать стратегии для их эффективного использования в будущем.

Цель данной статьи заключается в анализе процесса интеграции технологий виртуальной, дополненной и смешанной реальностей (VR/AR/MR), а также в изучении влияния этой интеграции на современные модели взаимодействия человека с цифровой средой. Для достижения поставленной цели решаются следующие задачи:

- изучить эволюцию VR, AR и MR-технологий, выявив ключевые этапы их развития и взаимовлияния;

- проанализировать существующие подходы к интеграции этих технологий и определить основные преимущества и ограничения текущих решений;

- рассмотреть, как интеграция VR/AR/MR меняет способы восприятия и взаимодействия человека с окружающей средой, включая изменение интерфейсов и расширение возможностей взаимодействия;

- исследовать практические примеры применения конвергентных технологий в различных индустриях, оценить их эффективность и выявить потенциальные барьеры для массового внедрения;

- определить перспективные направления развития VR/AR/MR и предложить рекомендации для дальнейших исследований и разработок в этой области.

Реализация указанных целей и задач позволит сформировать целостное представление о роли и значении интеграции VR/AR/MR в современном мире, а также обозначить пути для дальнейшей эволюции этих технологий.

Эволюция

технологий VR/AR/MR

Развитие технологий виртуальной (VR), дополненной (AR) и смешанной (MR) реальностей имеет глубокие корни, уходящие в середину XX века. Рассмотрим историю каждой из этих технологий отдельно.

1. Виртуальная реальность (VR).

Первые попытки создать устройства, погружающие человека в искусственную среду, начались ещё в середине прошлого столетия. Одним из пионеров стал Мортон Хейлиг, который в 1950-х годах разработал прототип устройства Sensorama, позволяющего пользователям испытывать мультимедийные ощущения, такие как запахи, звуки и вибрации.

В 1960-е годы Айвен Сазерленд представил устройство под названием «The Sword of Damocles» – первый прообраз шлема виртуальной реальности. Этот громоздкий аппарат был подвешен к потолку и позволял пользователю видеть простейшую трёхмерную графику. Затем, в 1980-х годах Джарон Ланье основал компанию VPL Research, которая начала разработку коммерческих продуктов VR, включая перчатки и шлемы. Именно тогда появился термин «виртуальная реальность». В этот период появились первые массовые игровые системы VR, хотя они оставались дорогими и ненадежными [1].

В 2010-х годах компании Oculus Rift, HTC и Sony выпустили потребительские версии VR-шлемов, что привело к массовому интересу

к виртуальной реальности. Современные устройства стали компактнее, удобнее и доступнее, предлагая высококачественное погружение в цифровую среду.

Разработка и внедрение технологий виртуальной реальности основывается на ряде значительных достижений и научных открытий, которые сыграли ключевую роль в их развитии.

Одно из ранних значимых достижений в области VR – разработка сенсоров движения и трекинга головы. Например, датчики акселерометров и гироскопов позволили отслеживать перемещения пользователя в пространстве, обеспечивая более глубокое погружение в виртуальную среду.

Прогресс в области графического рендеринга позволил создавать высокореалистичные изображения в режиме реального времени. Разработки компаний NVIDIA и AMD существенно улучшили качество графики и производительность VR-устройств. В то же время усовершенствование дисплеев для VR-шлемов, таких как OLED и AMOLED, сделало возможным передачу изображений высокой четкости, минимизируя эффект размытости и задержки (lag).

В развитие технологий виртуальной реальности, также необходимо упомянуть научные работы в области психологии и физиологии, которые помогли понять, как человек воспринимает трехмерные образы и реагирует на стимулы виртуального окружения. Это знание позволило оптимизировать VR-интерфейсы для снижения эффекта тошноты и головокружения.

2. Дополненная реальность (AR).

Идея дополненной реальности возникла в конце 1960-х годов благодаря работам Айвена Сазерленда, который разработал систему, отображающую цифровые данные поверх реального мира. Тем не менее, практическое воплощение AR пришлось ждать несколько десятилетий.

Первый коммерчески успешный продукт с элементами AR появился в 1990-х годах в виде игровых консолей Nintendo Virtual Boy, хотя эта система была скорее VR-системой с ограниченными возможностями AR. Настоящий прорыв в развитии AR произошел с появлением смартфонов. В 2009 году было выпущено приложение Wikitude, которое позволяло использовать камеру телефона для наложения информации на реальные объекты. Затем последовали такие продукты, как Google Glass и Pokémon Go, значительно увеличившие популярность AR среди широкой аудитории. Сегодня AR активно используется в розничной торговле, маркетинге, образовании и производстве. Технологии продолжают совершенствоваться, делая опыт взаимодействия с

дополненной реальностью всё более реалистичным и удобным [2].

Среди ключевых достижений и научных открытий в технологии дополненной реальности можно выделить развитие алгоритмов компьютерного зрения, развитие алгоритмов машинного обучения и глубокого обучения, такие как сверточные нейронные сети (CNN), а также достижения в области распознавания речи и жестов.

3. Смешанная реальность (MR).

Термин «смешанная реальность» был введен Полом Милграмом и Фумио Кишино в 1994 году. Они предложили концепцию континуума виртуальности-реальности, где смешанная реальность занимает промежуточное положение между виртуальным и реальным мирами.

Важной вехой стало появление Microsoft HoloLens в 2016 году – первого устройства, специально предназначенного для работы с MR. Оно позволило пользователям взаимодействовать с голограммами, которые накладываются на реальный мир [3].

Современные системы MR сочетают элементы VR и AR, создавая симбиоз физического и цифрового миров. Это открывает уникальные возможности для применения в проектировании, обучении и даже медицинской диагностике. Дальнейшее развитие MR связано с улучшением аппаратного обеспечения, увеличением вычислительной мощности устройств и расширением сфер применения, таких как удаленное сотрудничество и взаимодействие с роботизированными системами.

На развитие технологии смешанной реальности повлияли такие достижения науки и техники как:

- разработка многорежимных интерфейсов, совмещающих физическое и цифровое взаимодействие;
- использование облачных сервисов для обработки больших объемов данных в реальном времени (открыло новые возможности для работы с MR);
- разработка миниатюрных датчиков и мощных процессоров для носимых устройств, таких как очки и гарнитуры;
- появление сенсорных экранов и интерактивных поверхностей.

Интеграция технологий VR/AR/MR

Интеграция технологий виртуальной реальности (VR), дополненной (AR) и смешанной (MR) реальностей является одной из ключевых тенденций в области цифровых технологий. Она направлена на создание гибридных сред, где физические и цифровые объекты взаимодействуют друг с другом, предоставляя

пользователям новый уровень опыта. Рассмотрим основные аспекты интеграции этих технологий.

Основная идея интеграции VR, AR и MR заключается в объединении сильных сторон каждой из этих технологий для создания единого, универсального пространства, где границы между физическим и цифровым мирами размываются. Концептуально это выражается в следующем:

- VR создает полностью искусственную среду, заменяя реальную действительность виртуальной;

- AR добавляет цифровые элементы в физический мир, обогащая его дополнительной информацией;

- MR объединяет оба подхода, позволяя пользователям взаимодействовать с цифровыми объектами так же естественно, как с физическими.

Интегрированные системы стремятся обеспечить плавный переход между этими режимами, позволяя пользователям переключаться между ними в зависимости от контекста и потребностей.

Для успешной интеграции указанных технологий необходимы соответствующие технические решения. Среди основных направлений можно выделить:

1. Аппаратные решения:

- шлемы и очки: устройства, такие как Microsoft HoloLens или Magic Leap One, которые сочетают функции VR и AR, позволяя пользователю видеть как окружающий мир, так и наложенные цифровые объекты.

- сенсорные системы: используются камеры, датчики глубины и сенсоры движения для точного определения положения пользователя и окружающих объектов;

- устройства ввода-вывода: интерактивные контроллеры, перчатки с обратной связью и другие устройства обеспечивают взаимодействие с виртуальными объектами на уровне тактильных ощущений.

2. Программные платформы:

- SDK и API: специальные наборы инструментов, такие как Unity и Unreal Engine, предоставляют программистам возможность разрабатывать кросс-платформенные приложения, поддерживающие VR, AR и MR;

- обеспечивают совместимость с различными устройствами: программы должны поддерживать широкий спектр оборудования, начиная от бюджетных VR-шлемов и заканчивая профессиональными MR-гарнитурами;

- алгоритмы трекинга и рендеринга: высокопроизводительные алгоритмы компьютерного зрения и рендеринга обеспечивают точную

привязку цифровых объектов к реальной среде и плавное обновление графики.

3. Методы передачи данных и синхронизации:

- беспроводные технологии: высокая скорость передачи данных необходима для минимизации задержек между действиями пользователя и реакцией системы. Сюда входят Wi-Fi, Bluetooth и мобильные сети 5G;

- облачные сервисы: хранение и обработка данных в облаке позволяют уменьшить нагрузку на локальные устройства и улучшить масштабируемость приложений;

- синхронизация в многопользовательских средах: для совместной работы нескольких пользователей в одном виртуальном пространстве требуется высокая точность и низкая задержка при передаче данных.

Анализируя вопросы интеграции VR, AR и MR технологий необходимо также указать на преимущества решений.

Среди преимуществ можно выделить:

- универсальность: объединение VR, AR и MR позволяет создавать гибкие системы, адаптивные к различным сценариям использования;

- повышение удобства и вовлеченности: пользователи получают более естественный и интуитивный интерфейс, позволяющий взаимодействовать с цифровыми объектами как с реальными;

- расширение функциональности: интеграция позволяет комбинировать сильные стороны каждой технологии, предоставляя уникальные возможности, такие как совместная работа над проектами в виртуальной среде или обучение с использованием дополненной реальности;

- экономичность: вместо разработки отдельных решений для VR, AR и MR, интеграция позволяет использовать общие ресурсы и платформы, снижая затраты на разработку и поддержку.

Несмотря на значительные положительные решения интеграции VR, AR и MR технологий, в различных источниках и ряд недостатков, таких как:

- технические сложности: создание интегрированной системы требует координации множества компонентов, что усложняет проектирование и тестирование;

- энергопотребление: объединённые устройства часто требуют большей вычислительной мощности, что увеличивает энергопотребление и снижает автономность;

- пользовательский опыт: переход между разными режимами взаимодействия (VR, AR, MR) должен быть плавным и незаметным для пользователя, чтобы избежать дезориентации;

– стандартизация: отсутствие унифицированных стандартов для аппаратного и программного обеспечения затрудняет разработку универсальных решений.

Указанные недостатки указываются в различных источниках не только научной литературы [4, 5], но и в отзывах IT-разработчиков и рядовых пользователей и VR, AR и MR технологий.

Конвергенция технологий VR, AR и MR реальностей открыла новые горизонты для различных отраслей. Ниже приведены примеры успешного применения интегрированных решений в разных сферах:

1. Образование:

В образовательных учреждениях высшего образования используются интегрированные технологии для создания симуляторов и тренажеров, которые помогают обучающимся изучать сложные процессы, а также вырабатывать практические навыки в ситуациях максимально приближенных к реальности. Например, курсанты и студенты Ивановской пожарно-спасательной академии ГПС МЧС России в виртуальной, дополненной и смешанной реальности успешно выполняют мероприятия по тушению пожаров, ликвидации различных чрезвычайных ситуаций и могут взаимодействовать с пожарно-техническим вооружением и различными приборами с помощью VR-контроллеров. Визуализируя те или иные процессы, режимы работы, имитация реальной работы приборов и анимация позволяют наглядно и быстро донести требуемую информацию до обучающегося и выработать требуемые навыки [6].

Школы и музеи используют VR, AR и MR технологии для проведения виртуальных экскурсий, где учащиеся могут посещать далекие места и эпохи, взаимодействуя с историческими артефактами в дополненном формате. Например, приложение Google Expeditions позволяет ученикам исследовать достопримечательности по всему миру прямо в классе [7].

2. Производство:

Инженеры используют MR технологии для создания и тестирования прототипов изделий в виртуальной среде. Например, автоконцерн Ford применяет HMI (Human-Machine Interface) системы, где дизайнеры и инженеры могут визуально оценивать дизайн автомобиля, проводить краш-тесты и проверять эргономику, не создавая физических макетов [8].

Производственные предприятия внедряют AR-инструкции для обучения работников, показывая пошагово выполнение операций непосредственно на рабочем месте. Это помогает снизить количество ошибок и повысить эффективность труда [9].

3. Медицина:

Врачи могут готовиться к операциям, используя симуляции с VR и AR. Например, система Touch Surgery позволяет хирургам практиковаться в проведении операций в виртуальной среде, получая обратную связь в реальном времени [10].

Кроме того, врачи могут консультировать пациентов дистанционно, используя MR для демонстрации медицинских данных. Например, с помощью AR-очков врач может показать пациенту рентгеновский снимок или результаты МРТ, наложенные на тело пациента [11].

4. Розничная торговля:

Магазины одежды и мебели используют AR и MR для создания виртуальных примерочных залов. Покупатели могут увидеть, как одежда или мебель будут выглядеть в их квартире или гардеробе, используя смартфоны или планшеты. В магазинах устанавливаются экраны с дополненной реальностью, которые позволяют покупателям получить дополнительную информацию о товарах, просто наводя камеру смартфона на товар.

Один из крупных магазинов электроники столкнулся с проблемой – низкий трафик в магазине и слабая конверсия покупателей. Решение – внедрение интерактивных витрин. Витрины анализировали интересы клиентов, предлагали персонализированные скидки и позволяли сразу оформить заказ. Результат – продажи выросли на 30 % за первые три месяца, время взаимодействия клиентов с товаром увеличилось на 45 %, количество посетителей магазина выросло на 20 %.

5. Военная сфера:

Вооруженные силы России уже не первый год используют VR и AR для подготовки военнослужащих. Например, солдаты могут проходить тренировочные миссии в виртуальной среде, имитирующей боевые условия, а командиры могут получать тактическую информацию в режиме реального времени с помощью AR-дисплеев. Также командующие могут использовать MR для планирования операций, просматривая виртуальные карты местности и анализируя возможные сценарии развития событий [12].

6. Туризм и культура:

Музеи и туристические центры предлагают посетителям прогулки по выставкам и достопримечательностям с использованием VR/AR/MR. Например, посетители Лувра могут использовать AR-приложение, чтобы узнать больше о произведениях искусства, просто направив смартфон на картину. Археологи применяют VR и AR для реконструкции древних городов и памятников, позволяя посетителям путешествовать во времени и наблюдать, как выглядели эти места в прошлом.

7. Игровая индустрия:

Разработчики игр создают проекты, где игроки могут взаимодействовать с виртуальными персонажами в своем реальном окружении (как в игре Pokémon Go). Более продвинутые игры используют MR для полного погружения игроков в игровую вселенную. Платформы вроде Rec Room и VR Chat позволяют игрокам встречаться и общаться в виртуальных мирах, совместно участвуя в различных активностях [13].

Эти примеры демонстрируют широту применения интегрированных VR, AR и MR технологий и подчеркивают их огромный потенциал для изменения способов взаимодействия человека с цифровыми и физическими объектами.

Трансформация взаимодействия человека с цифровой средой

Интеграция технологий VR, AR и MR оказывает существенное влияние на способы, которыми человек взаимодействует с цифровой средой. Рассмотрим основные аспекты этой трансформации.

Традиционное взаимодействие с цифровыми технологиями ограничивается экранами компьютеров и мобильных устройств. Однако с приходом VR, AR и MR это восприятие меняется коренным образом. VR полностью погружает пользователя в цифровую среду, создавая ощущение присутствия в виртуальном мире. Это открывает новые возможности для образования, развлечений и профессиональных тренировок.

Так сотрудниками Ивановской пожарно-спасательной академии ГПС МЧС России проведено эмпирическое исследование, направленное на выявление влияния интерактивных и иммерсивных методов на эффективность подготовки специалистов экстремального профиля, которое показало эффективность применения технологий виртуальной реальности при практической подготовке обучающихся [14].

AR и MR позволяют добавлять цифровые элементы в реальный мир, обогащая окружающую среду полезной информацией. Например, электронное информационное техническое руководство по работе с приборами радиационной и химической разведки может быть наложено непосредственно на физический прибор, что делает процесс изучения прибора и порядка работы с ним наглядным и эффективным [15] (рис. 1).

Сенсоры и трекинговые системы позволяют пользователям перемещаться внутри виртуального пространства также, как в физическом мире, что значительно упрощает ориентацию и управление (рис. 2).

Дальнейший анализ взаимодействия VR, AR и MR технологий и человека приводит нас к тому, что интеграция VR, AR и MR способствует созданию интерфейсов, которые максимально приближены к естественным человеческим действиям. Технология распознавания движений позволяет управлять цифровыми объектами с помощью естественных жестов. Например, в MR-среде пользователь может перемещать виртуальные предметы рукой, как если бы они были реальными.



Рис. 1. Применение виртуальной, дополненной и смешанной реальностей в образовательном процессе Ивановской пожарно-спасательной академии ГПС МЧС России



Рис. 2. Применение сенсоров и трекингowych систем в Ивановской пожарно-спасательной академии ГПС МЧС России

А голосовые интерфейсы становятся все более популярными, особенно в сочетании с AR и MR. Пользователь может давать команды устройствам голосом, что ускоряет и упрощает взаимодействие. Кроме того, некоторые устройства, такие как VR-перчатки, оснащены тактильной обратной связью, что позволяет ощущать прикосновения к виртуальным объектам, усиливая чувство присутствия.

Так, например, в Ивановской пожарно-спасательной академии ГПС МЧС России уже более 3 лет действует многофункциональный

учебно-тренажерный комплекс с применением технологии виртуальной реальности, где реализованы разработки в области корректной обратной связи:

- применение перчаток контроллеров Senso DK3, способных усилить чувство присутствия пожарного ствола в руках (рис. 3);
- применение жилета тактильного VR Tactot, позволяющего ощутить столкновения, а также нагрев при воздействии тепловых нагрузок (рис. 4).



Рис. 3. Использование перчаток контроллеров Senso DK3¹ в единой образовательной среде с применением технологии виртуальной реальности в Ивановской пожарно-спасательной академии ГПС МЧС России

¹ <https://virtuality.club/store/sistemi-pozicionnogo-trekinga/perchatki/perchatki-kontrolleri-senso-dk3/> (дата обращения 11.04.2025 г.)



Рис. 4. Использование жилета тактильного VR Tactot² в единой образовательной среде с применением технологии виртуальной реальности в Ивановской пожарно-спасательной академии ГПС МЧС России

Таким образом, интеграция VR, AR и MR трансформирует взаимодействие человека с цифровой средой, делая его более естественным, иммерсивным и многофункциональным. Это открывает новые возможности для личного роста, профессионального развития и социального взаимодействия, но также ставит перед обществом новые вызовы, связанные с этикой, безопасностью и здоровьем.

Перспективы и направления дальнейших исследований

Интеграция VR, AR и MR технологий открывает широкие перспективы для развития и применения в различных сферах жизни. Однако для полной реализации потенциала этих технологий необходимо продолжать исследования и разработки по нескольким ключевым направлениям:

1. Улучшение аппаратного обеспечения.

Для реализации данного направления потребуется дальнейшая разработка более легких, компактных и удобных в использовании устройств, таких как очки и гарнитуры. Это сделает технологии более доступными для широкого круга потребителей.

Потребуется разработка по увеличению мощностей для обработки больших объемов данных в реальном времени, что обеспечит более высокое разрешение и частоту кадров.

Кроме того, необходимо постоянное повышение энергоэффективности и улучшение аккумуляторных батарей, что позволит увеличить время работы устройств без подзарядки, что особенно важно для носимых гаджетов.

2. Развитие программного обеспечения.

Создание открытых SDK и API для разработки приложений, поддерживающих VR, AR и MR, что упростит работу программистов и IT-специалистов, ускорит внедрение инновационных решений, а унификация стандартов и протоколов обмена данными между различными

устройствами и платформами облегчит интеграцию и взаимодействие между ними.

Развитие алгоритмов AI (алгоритмы искусственного интеллекта) помогут улучшить точность распознавания объектов, анализа данных и предсказания поведения пользователей, что повысит удобство и эффективность использования технологий.

3. Совершенствование интерфейсов взаимодействия.

В данном направлении потребуются новейшие разработки более интуитивных и естественных способов взаимодействия с цифровыми объектами, таких как голосовые команды, жесты, мимика, внедрение биометрических датчиков и алгоритмов анализа эмоций для персонализации взаимодействия и улучшения комфорта пользователей.

Эти направления исследований и разработок направлены на дальнейшее улучшение и распространение VR, AR и MR технологий, что откроет новые возможности для бизнеса, науки и повседневной жизни.

Заключение

Интеграция технологий виртуальной, дополненной и смешанной реальности представляет собой важный этап в развитии цифровых технологий, обладающий огромным потенциалом для преобразования многих аспектов нашей жизни. В статье рассмотрены ключевые моменты эволюции этих технологий, их текущее состояние и перспективы развития. Особое внимание уделено вопросам интеграции, которая открывает уникальные возможности для создания гибридных сред, объединяющих физические и цифровые объекты.

Анализ показал, что интеграция VR, AR и MR технологий способна революционизировать отрасли, такие как образование, здравоохранение, производство и развлечения, предоставляя новые инструменты для

² <https://virtuality.club/store/kontrollery-virtualnoy-realnosti/taktilnie-ustrojstva/taktilnij-zhilet-na-telo-tactot/> (дата обращения 11.04.2025 г.)

обучения, диагностики, проектирования и взаимодействия. Однако успех этих технологий зависит от решения ряда технических и социальных проблем, включая повышение производительности устройств, обеспечение безопасности данных и уменьшение негативного влияния на психоэмоциональное состояние пользователей.

Дальнейшие исследования необходимо сосредоточить на совершенствовании аппа-

ратного и программного обеспечения, расширении областей применения и решении вопросов конфиденциальности и доступности. Таким образом, интеграция VR, AR и MR обещает стать основой для формирования новых форм взаимодействия человека с цифровой средой, изменяя нашу повседневную жизнь и открывая новые горизонты для творчества, науки и образования.

Список литературы

1. Карлов А. В., Секлетова Н. Н. Виртуальная реальность. История развития // Экономика и социум. 2017. № 4 (35). С. 675–679. EDN: YUSWUP.
2. Батырова К. С., Пошивайло Я. Г. История дополненной реальности и перспективы ее применения в картографии // Вестник СГУГиТ (Сибирского государственного университета геосистем и технологий). 2021. Т. 26, № 5. С. 99–107. DOI: 10.33764/2411-1759-2021-26-5-99-107. EDN: XBNSLP.
3. Революция в Образовании с помощью Технологий смешанной реальности (MR) / А. Сеидов, О. Дурдыев, А. Мамметгулыев [и др.] // Символ науки: международный научный журнал. 2024. Т. 1, № 11-1. С. 94–96. EDN: AZBOFE
4. Мальцева С. М., Софонов Д. А., Нагорнов Е. А. Иммерсивное обучение: перспективы и вызовы внедрения VR/AR/MR технологий в образовательный процесс // Проблемы современного педагогического образования. 2024. № 85-1. С. 233–235. EDN: KMYCON
5. Sosnilo A. V., Kreer M. Y., Petrova V. V. AR/VR technologies in management and education. *Upravlenie*, 2021, vol. 9, issue 2, pp. 114–124. DOI: 10.26425/2309-3633-2021-9-2-114-124. EDN: MZAZGA
6. Разработка системы моделирования ЧС на открытых территориях с использованием технологий виртуальной, дополненной и смешанной реальностей / П. В. Данилов, А. К. Кокурин, И. А. Малый [и др.] // Пожарная и аварийная безопасность. 2024. № 4 (35). С. 7–14. EDN: FEFXGY
7. Мосина М. А., Бурлакова А. А. Использование приложения «Google expeditions» для формирования социокультурной компетенции учащихся основной школы // Проблемы романо-германской филологии, педагогики и методики преподавания иностранных языков. 2020. № 16. С. 193–197. EDN: PNHQYK
8. Воронцова Ю. В., Ефимова А. М. Использование технологии Human-machine interface дизайна в проектном управлении в условиях цифровой экономики // Шаг в будущее: искусственный интеллект и цифровая экономика. Революция в управлении: новая цифровая экономика или новый мир машин: материалы II Международного научного форума. М.: Государственный университет управления, 2018. С. 23–26. EDN: VTXYOYS
9. Малышкин А. В. Виртуальная и дополненная реальность как инструмент производственного обучения работников ТЭК // Молодёжная наука Севера: сборник материалов I Международной научно-практической конференции. Ханты-Мансийск: Югорский государственный университет, 2023. С. 648–653. EDN: PAWVII
10. Young M., Bodden E., González C. Touch surgery to improve surgical performance with a robotic system in a public hospital in Central America. *Urology & Nephrology Open Access Journal*, 2023, vol. 11, issue 3, pp. 115–116. DOI: 10.15406/unoaj.2023.11.00344. EDN: FDLWML.
11. Даниленко О. А. Опыт оперативного лечения пациентов с травмами и заболеваниями опорно-двигательного аппарата с использованием технологий дополненной реальности (AR) // Медицинские новости. 2022. № 11 (338). С. 16–19. EDN: YXHPWA
12. Кожин В. В., Лайус Н. С., Беляков А. А. Применение технологий искусственного интеллекта и виртуальной (дополненной) реальности в армии США // Научный Лидер. 2025. № 9 (210). С. 23–25. EDN: LKLWWS
13. Готовы ли мы к метавселенной? / М. И. Панасенко, Д. А. Суббот, Д. А. Ягунов [и др.] // Научный Лидер. 2023. № 2 (100). С. 23–26. EDN: PDCVYP
14. Применение интерактивных методов обучения в совершенствовании технологий профессионального образования / И. Ю. Шарбанова, Е. С. Титова, Ю. С. Мигунова [и др.] // Пожарная и аварийная безопасность. 2024. № 2 (33). С. 43–49. EDN: USWKWE
15. Данилов П. В. Применение виртуальной, дополненной и смешанной реальностей при изучении практических вопросов выявления оценки и контроля радиационной и химической обстановки // Проблемы и перспективы развития IT- и VR-технологий в области комплексной безопасности: материалы II Всероссийской научно-практической конференции.

Екатеринбург: Уральский институт Государственной противопожарной службы МЧС России, 2023. С. 26–32. EDN: DHDLUB

References

1. Karlov A. V., Sekletova N. N. Virtual'naya real'nost'. Istoriya razvitiya [Virtual reality. History of development]. *Ekonomika i socium*, 2017, vol. 4 (35), pp. 675–679. EDN: YUSWUP

2. Batyrova K. S., Poshivajlo Ya. G. Istoriya dopolnennoj real'nosti i perspektivy ee primeneniya v kartografii [The history of augmented reality and the prospects of its application in cartography]. *Vestnik SGUGiT (Sibirskogo gosudarstvennogo universiteta geosistem i tekhnologii)*, 2021, vol. 26, issue 5, pp. 99–107. DOI: 10.33764/2411-1759-2021-26-5-99-107. EDN: XBNSLP

3. Revolyuciya v Obrazovanii s pomoshch'yu Tekhnologii smeshannoj real'nosti (MR) [A Revolution in Education through Mixed Reality (MR) Technology] A. Seidov, O. Durdyev, A. Mammetgulyev [et al.]. *Simvol nauki: mezhdunarodnyj nauchnyj zhurnal*, 2024, vol.1, issue 11-1, pp. 94–96. EDN: AZBOFE

4. Mal'ceva S. M., Sofonov D. A., Nagornov E. A. Immersivnoe obuchenie: perspektivy i vyzovy vnedreniya VR/AR/MR tekhnologii v obrazovatel'nyj process [Immersive learning: prospects and challenges of introducing VR/AR/MR technologies into the educational process]. *Problemy sovremennogo pedagogicheskogo obrazovaniya*, 2024, issue 85-1, pp. 233–235. EDN: KMYCON

5. Sosnilo A. V., Kreer M. Y., Petrova V. V. AR/VR technologies in management and education. *Upravlenie*, 2021, vol. 9, issue 2, pp. 114–124. DOI: 10.26425/2309-3633-2021-9-2-114-124. EDN: MZAZGA

6. Razrabotka sistemy modelirovaniya ChS na otkrytyh territoriyah s ispol'zovaniem tekhnologii virtual'noj, dopolnennoj i smeshannoj real'nostej [Development of an emergency simulation system in open areas using virtual, augmented and mixed reality technologies] / P. V. Danilov, A. K. Kokurin, I. A. Malyj [et al.]. *Pozharnaya i avarijnaya bezopasnost'*, 2024, vol. 4 (35), pp. 7–14. EDN: FEFXY

7. Mosina M. A., Burlakova A. A. Ispol'zovanie prilozheniya «Google expeditions» dlya formirovaniya sociokul'turnoj kompetencii uchashchihsya osnovnoj shkoly [Using the Google Expeditions application to form the socio-cultural competence of primary school students]. *Problemy romano-germanskoj filologii, pedagogiki i metodiki prepodavaniya inostrannyh yazykov*, 2020, issue 16, pp. 193–197. EDN: PHXQYK

8. Voroncova Yu. V., Efimova A. M. Ispol'zovanie tekhnologii Human-machine interface dizajna v proektnom upravlenii v usloviyah

cifrovoj ekonomiki [The use of Human-machine interface design technology in project management in the digital economy]. *Shag v budushchee: iskusstvennyj intellekt i cifrovaya ekonomika. Revolyuciya v upravlenii: novaya cifrovaya ekonomika ili novyj mir mashin: materialy II Mezhdunarodnogo nauchnogo foruma*, Moscow: Gosudarstvennyj universitet upravleniya, 2018, pp. 23–26. EDN: VTXOYS

9. Malyshkin A. V. Virtual'naya i dopolnen'naya real'nost' kak instrument proizvodstvennogo obucheniya rabotnikov TEK [Virtual and augmented reality as a tool for industrial training of fuel and energy sector workers]. *Molodyozhnaya nauka Severa: sbornik materialov I Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii*. Hanty-Mansijsk: Yugorskij gosudarstvennyj universitet, 2023, pp. 648–653. EDN: PAWVII

10. Young M., Bodden E., González C. Touch surgery to improve surgical performance with a robotic system in a public hospital in Central America. *Urology & Nephrology Open Access Journal*, 2023, vol. 11, issue 3, pp. 115–116. DOI: 10.15406/unoaj.2023.11.00344. EDN: FDLWML

11. Danilenko O. A. Opyt operativnogo lecheniya pacientov s travmami i zabolevaniyami oporno-dvigatel'nogo apparata s ispol'zovaniem tekhnologii dopolnennoj real'nosti (AR) [Experience of surgical treatment of patients with injuries and diseases of the musculoskeletal system using augmented reality (AR) technologies]. *Medicinskie novosti*, 2022, vol. 11 (338), pp. 16–19. EDN: YXHPWA

12. Kozhin V. V., Lajus N. S., Belyakov A. A. Primenenie tekhnologii iskusstvennogo intellekta i virtual'noj (dopolnennoj) real'nosti v armii SShA [The use of artificial intelligence and virtual (augmented) reality technologies in the US Army]. *Nauchnyj Lider*, 2025, vol. 9 (210), pp. 23–25. EDN: LKLUWS

13. Gotovy li my k metaverse? [Are we ready for the metaverse?] / M. I. Panasenkov, D. A. Subbot, D. A. Yagunov [et al.]. *Nauchnyj Lider*, 2023, vol. 2 (100), pp. 23–26. EDN: PDCVYP

14. Primenenie interaktivnyh metodov obucheniya v sovershenstvovanii tekhnologii professional'nogo obrazovaniya [The use of interactive teaching methods in improving vocational education technologies] / I. Yu. Sharabanova, E. S. Titova, Yu. S. Migunova [et al.]. *Pozharnaya i avarijnaya bezopasnost'*, 2024, vol. 2 (33), pp. 43–49. EDN: USWKWE

15. Danilov P. V. Primenenie virtual'noj, dopolnennoj i smeshannoj real'nostej pri izuchenii prakticheskikh voprosov vyavleniya ocenki i kontrolya radiacionnoj i himicheskoy obstanovki [The use of virtual, augmented and mixed realities in the study of practical issues of identification, assessment and control of radiation and chemical conditions]. *Problemy i perspektivy razvitiya IT– i*

VR-tehnologii v oblasti kompleksnoj bezopasnosti: materialy II Vserossijskoj nauchno-prakticheskoy konferencii. Ekaterinburg: Ural'skij institut

Gosudarstvennoj protivopozharnoj sluzhby MChS
Rossii, 2023, pp. 26–32. EDN: DHDLUB

Данилов Павел Владимирович

Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,
Российская Федерация, г. Иваново
Заместитель начальника кафедры
E-mail: kog@edufire37.ru

Danilov Pavel 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
Deputy Head of the Department
E-mail: kog@edufire37.ru

Горский Владимир Евгеньевич

Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,
Российская Федерация, г. Иваново
Преподаватель кафедры
E-mail: kog@edufire37.ru

Gorskij Vladimir Evgen'evich

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 of the department
E-mail: kog@edufire37.ru

Шарабанов Никита Александрович

ФГБОУ ВО «Ивановский государственный энергетический университет имени В. И. Ленина»
Российская Федерация, г. Иваново
Магистр факультета информатики и вычислительной техники
E-mail: nsharabanov@bk.ru

Sharabanov Nikita Alexandrovich

State Educational Institution of Higher Professional Education «Ivanovo State Power University named after V. I. Lenin»,
Russian Federation, Ivanovo
Master at the Faculty of Computer Science and Engineering
E-mail: nsharabanov@bk.ru

**ВОДОСНАБЖЕНИЕ, КАНАЛИЗАЦИЯ,
СТРОИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ ОХРАНЫ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ
(ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ)
WATER SUPPLY, SEWER SYSTEM, CONSTRUCTION SYSTEMS
OF PROTECTION OF WATER RECOURCES (TECHNICAL)**

УДК 66.011:66.023

**ОЧИСТКА ВОДЫ ОТ ИОНОВ МЕДИ В ОДНОСЕКЦИОННОМ АППАРАТЕ
КОНИЧЕСКОЙ ФОРМЫ С ПСЕВДООЖИЖЕННЫМ СЛОЕМ КАТИОНИТА**

С. В. НАТАРЕЕВ^{1,2}, А. И. ЛАРИНА¹ Т. В. ФРОЛОВА²

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

²Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,
Российская Федерация, г. Иваново
E-mail: natoret@mail.ru

Разработано математическое описание процесса очистки воды от ионов тяжелых металлов методом ионного обмена в коническом аппарате со взвешенным слоем катионита. При разработке математического описания использованы следующие допущения: ионит монодисперсен и имеет сферическую форму; начальное распределение веществ в ионите равномерное; равновесие процесса описывается уравнением изотермы адсорбции Ленгмюра; скорость процесса лимитируется как внутренней, так и внешней диффузией; ионит в аппарате движется с продольным перемешиванием. В соответствии с принятыми допущениями сформулировано математическое описание процесса, включающее уравнение материального баланса раствора, уравнение изотермы адсорбции, уравнение кинетики диффузии, начальные и граничные условия. Для проверки адекватности разработанной модели реальному процессу проведены экспериментальные исследования процессов ионообменной сорбции ионов меди на сульфокатионите КУ-2-8 в лабораторном коническом аппарате со взвешенным слоем. В ходе исследований были сняты выходные кривые ионного обмена. Сравнение результатов расчета и эксперимента позволило сделать вывод об адекватности разработанного математического описания реальному процессу. Расхождение расчета и эксперимента не превышает 15 %. Даны рекомендации по использованию полученных зависимостей для практического применения.

Ключевые слова: ионный обмен, аппарат с псевдооживленным слоем ионита, математическая модель, водоснабжение.

**WATER PURIFICATION FROM COPPER IONS IN A SINGLE-SECTION
CONICAL APPARATUS WITH A FLUIDISED BED OF CATIONITE**

S. V. NATAREEV^{1,2}, A. I. LARINA¹, T. V. FROLOVA¹

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

²Federal 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: natoret@mail.ru

The mathematical description of the process of solution purification from heavy metal ions by means of ion exchange in a conical shaped apparatus with suspended layer was developed. At the developing mathematical description the following assumptions were used: the ionite is monodisperse and has a spherical shape; uniform initial distribution of substances in the ionite; the process equilibrium is described by the Langmuir adsorption isotherm equation; the velocity of the process is limited by both internal and external diffusion; the ionite in the device moves with longitudinal mixing effect. In accordance with the accepted assumptions,

a mathematical description of the process is formulated, including the material balance equations for a solution, the equation of the adsorption isotherm, the equation of diffusion kinetics, as well as the initial and boundary conditions. To test the adequacy of the developed model to the real process, experimental studies of processes of ion-exchange sorption of copper ions on the KY-2-8 sulfonic acid cation exchanger in a laboratory conical shaped apparatus with suspended layer. During the research, curves of output ion exchange curves were taken. Comparison of the results of calculation and experiment made it possible to conclude that the developed mathematical description is adequate to the real process. The discrepancy between the calculation and the experiment does not exceed 15 %. Recommendations are given on the application of the obtained dependences for practical application.

Key words: ion exchange, fluidized bed apparatus, mathematical model, water supply.

В чрезвычайных ситуациях вода является первоочередным компонентом жизнеобеспечения человека¹. Для снабжения пострадавшего населения и спасателей водой используются мобильные водоочистные станции, которые могут быть развернуты в короткие сроки [1]. В состав мобильных станций входит ионообменное оборудование, предназначенное для очистки воды от ионов тяжелых металлов. При этом очищенная вода удовлетворяет нормативным требованиям предельно допустимых концентраций и может быть пригодна для технических нужд и употребления в пищу² [2]. Для очистки воды успешно применяются аппараты с неподвижным и псевдооживленным (кипящим) слоем ионита. Каждые из них имеют определенные достоинства и недостатки [3, 4]. В настоящей работе приведены результаты исследования процессов ионного обмена в односекционном аппарате периодического действия с псевдооживленным слоем. К достоинствам данной конструкции аппарата можно отнести незначительное гидравлическое сопротивление слоя, возможность очистки мутных растворов, практически полное выравнивание концентрации раствора в рабочем объеме аппарата, развитая поверхность контакта между частицами ионита и очищаемой водой, обеспечивающая высокую скорость массообмена в жидкой фазе, простота устройства аппарата и отсутствие в нем подвижных частей и механизмов. К недостаткам в работе аппарата можно отнести ограниченный диапазон скоростей сжижающего агента, истирание и унос частиц сорбента. Кроме того, в ионообменных аппаратах непрерывного действия наблюдается значительная неравномерность отработки ионита, поскольку время пребывания отдельных частиц ионита существенно отличается от его среднего значения. Поэтому в ряде случаев аппараты с

псевдооживленным слоем не могут заменить аппараты с неподвижным слоем ионита [5, 6]. Повышение эффективности их работы является актуальной задачей.

Целью работы является совершенствование режима работы ионообменного аппарата с псевдооживленным слоем ионита для проведения процесса очистки воды от ионов меди. Для достижения поставленной цели сформулированы следующие задачи исследований: 1) разработка математического описания ионного обмена в аппарате с псевдооживленным слоем ионита с учетом современных представлений о равновесии и кинетики процесса, а также гидродинамических особенностей движения раствора и ионита в аппарате; 2) проведение экспериментального исследования процесса ионообменной сорбции в аппарате с псевдооживленным слоем ионита; 3) проверка адекватности разработанной математической модели; 4) разработка рекомендаций для практического применения.

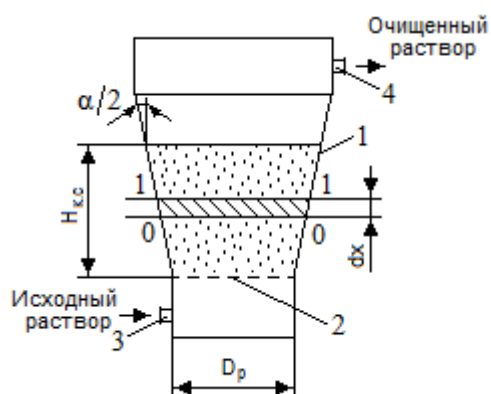
В псевдооживленном слое отрицательное влияние оказывает продольное перемешивание раствора и ионита, которое снижает скорость ионного обмена за счет уменьшения средней движущей силы процесса. Для снижения продольного перемешивания применяют различного рода насадки, секционирование взвешенного слоя горизонтальными тарелками и коническую форму корпуса адсорбера. Когановским А. М. с соавторами [7] отмечено, что применение провальных решеток ослабляет эффект продольного перемешивания частиц ионита, но не устраняет их полностью. При этом наблюдается снижение динамической обменной емкости сорбента до проскока, значение которой зависит от относительного расширения слоя, рассчитываемого как отношение высоты взвешенного слоя к высоте плотного слоя

¹ ГОСТ 22.3.01-2023. Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Первоочередное жизнеобеспечение пострадавшего населения. Общие требования. М.: Российский институт стандартизации. 2023. 19 с.

² 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). Электронный ресурс. Доступ из СПС КонсультантПлюс. https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_365189/.

ионита. Исследования, проведенные в работе [8] показали, что степень очистки раствора от ионов двухвалентных металлов в ступенчато-противоточном аппарате в 2–3 раза выше, чем однокамерном аппарате кипящего слоя.

Уменьшение вредного влияния продольного перемешивания может быть достигнуто в ионообменных аппаратах конической формы с расширяющимся сверху сечением. При такой форме аппарата снижается скорость раствора по мере его подъема, что позволяет проводить процесс ионообмена с полидисперсным ионитом. При этом уменьшается унос мелкой фракции ионита и достигается более организованная циркуляция твердой фазы, которая поднимается в центре и опускается у стенок аппарата. Это приводит к повышению



Аппарат работает следующим образом. Исходный раствор поступает в аппарат через штуцер 3, равномерно распределяется по всей площади поперечного сечения аппарата с помощью водораспределительной решетки 2, проходит через отверстия решетки и кипящий слой ионита, где очищается от ионов целевого компонента. Очищенный раствор отделяется от частиц твердой фазы в сепарационном пространстве и выводится из аппарата через штуцер 4. Обозначим $H_{к.с}$ – высота кипящего слоя ионита, м; D_p – диаметр водораспределительной решетки, м; α – угол раскрытия конуса, град.

При построении математической модели учтем следующие основные факторы процесса ионного обмена: равновесное состояние

равномерного насыщения ионита целевым компонентом и позволяет снизить высоту ионообменной камеры. В работе [9] отмечено, что аппараты с коническим кипящим слоем по своим показателям схожи с аппаратами с неподвижным слоем ионита.

Для повышения эффективности процесса ионного обмена в аппарате целесообразно применение метода математического моделирования, позволяющего оценить влияние различных факторов и явлений, а также найти рациональные режимы его работы. В работе предложено математическое описание процесса ионного обмена в односекционном аппарате периодического действия конической формы с кипящим слоем сорбента, схема которого показана на рис. 1.

Рис. 1. Односекционный ионообменный аппарат периодического действия конической формы с кипящим слоем сорбента:
1 – корпус; 2 – водораспределительная решетка; 3, 4 – штуцера для ввода и вывода раствора соответственно

в системе ионит-раствор описывается уравнением Ленгмюра; перенос противоионов из жидкой фазы в твердую фазу ионита осуществляется в смешанно-диффузионной области; изменение концентрации сорбируемого вещества в жидкой фазе происходит по высоте кипящего слоя ионита за счет движения раствора с переменной по сечению аппарата скоростью перемешивания жидкости в продольном направлении и процесса ионного обмена.

В соответствии с принятыми допущениями динамика процесса ионного обмена будет описываться системой следующих уравнений:

– уравнение материального баланса в потоке раствора по высоте кипящего слоя ионита:

$$\varepsilon_{к.с} \frac{\partial C}{\partial \tau} + (1 - \varepsilon_{к.с}) \frac{\partial \bar{C}_{ср}}{\partial \tau} + \frac{v_{вх} R_1^2 - 2\varepsilon_{к.с} \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} D_x \left(R_1 + x \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} \right)}{\left(R_1 + x \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} \right)^2} \frac{\partial C}{\partial x} = \varepsilon_{к.с} D_x \frac{\partial^2 C}{\partial x^2}; \quad (1)$$

– уравнение диффузии сорбируемого вещества в твердую фазу ионита:

$$\bar{D} \left[\frac{\partial^2 \bar{C}(r, \tau)}{\partial r^2} + \frac{2}{r} \frac{\partial \bar{C}(r, \tau)}{\partial r} \right] = \frac{\partial \bar{C}(r, \tau)}{\partial \tau} \quad (2)$$

($\tau > 0$; $0 \leq r \leq r_0$);

– уравнение изотермы адсорбции:

$$\bar{C}_p = a_0 \frac{kC_p}{1 + kC_p}, \quad (3)$$

– уравнение для определения средней концентрации целевого компонента в сферической частице ионита:

$$\bar{C}_{cp}(\tau) = \frac{3}{r_0^3} \int_0^{r_0} r^2 \bar{C}(r, \tau) dr; \quad (4)$$

– условия однозначности:

$$C(0) = C_0; \quad (5)$$

$$\bar{C}_{cp}(0) = \bar{C}(r, 0) = \bar{C}_{cp,0}; \quad (6)$$

$$\left. \frac{\partial \bar{C}}{\partial r} \right|_{r=0} = 0, \quad \bar{C}(0, \tau) \neq \infty; \quad (7)$$

$$\bar{D} \left. \frac{\partial \bar{C}}{\partial r} \right|_{r=r_0} = \beta [C - C_p(\bar{C}_p)], \quad (8)$$

$$v_{\text{вх}} C_{\text{вх}} = v_{\text{вх}} C(x, \tau)_{x=0} - \frac{\varepsilon_{\text{к.с}} D_x \left(R_1 + x \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} \right)^2}{R_1^2} \Big|_{x=0} = \quad (9)$$

$$= \varepsilon_{\text{к.с}} D_x \frac{\partial^2 C}{\partial x^2};$$

$$\left. \frac{\partial \bar{C}}{\partial x} \right|_{x=H_{\text{в.с}}} = 0, \quad (10)$$

где a_0 — предельное значение адсорбции, кмоль-экв/м³; D_x — коэффициент продольного перемешивания раствора, м²/с; $\bar{D}$ — эффективный коэффициент внутренней диффузии, м²/с; v — скорость раствора, м/с; k — адсорбционный коэффициент, м³/кмоль-экв; r — координата по радиусу частицы ионита, м; r_0 — радиус частицы ионита, м; $R_1 = D_p/2$ —

радиус водораспределительной решетки, м; τ — время, с; β — коэффициент массоотдачи в растворе, м/с; $\varepsilon_{\text{в.с}}$ — порозность кипящего слоя; индексы: вх — входящий; ср — средний; 0 — начальный.

Приведенная математическая постановка задачи (1)–(10) отличается от известных [3, 9–11] учетом в материальном балансе (1) и граничном условии (9) изменения скорости движения раствора по высоте аппарата.

Порозность кипящего слоя $\varepsilon_{\text{в.с}}$ находили по формуле О. М. Тодеса [12]:

$$\varepsilon_{\text{в.с}} = \left(\frac{18 \operatorname{Re} + 0,36 \operatorname{Re}^2}{\operatorname{Ar}} \right)^{0,21}, \quad (11)$$

где $\operatorname{Re} = \frac{v d_3}{\nu_{\text{ж}}}$ — число Рейнольдса для зерна;

$\operatorname{Ar} = \frac{d_3 (\rho_{\text{т}} - \rho_{\text{ж}}) g}{\nu_{\text{ж}}^2 \rho_{\text{ж}}}$ — число Архимеда;

d_3 — диаметр зерна ионита, м; $\nu_{\text{ж}}$ — коэффициент кинематической вязкости раствора, м²/с; g — ускорение свободного падения, м/с²; $\rho_{\text{ж}}$ — плотность жидкой фазы, кг/м³; $\rho_{\text{т}}$ — плотность твердой фазы, кг/м³.

Коэффициент массоотдачи в жидкой фазе β находили по уравнению [13]:

$$\operatorname{Nu} = 2,0 + 1,5 (\operatorname{Pr})^{0,33} [(1 - \varepsilon_{\text{к.с}}) \operatorname{Re}]^{0,5}, \quad (12)$$

где $\operatorname{Pr} = \frac{\nu_{\text{ж}}}{D}$ — число Прандтля;

$\operatorname{Re} = \frac{\operatorname{Ar} \varepsilon_{\text{к.с}}^{4,75}}{18 + 0,61 \sqrt{\operatorname{Ar} \varepsilon_{\text{к.с}}^{4,75}}}$ — число Рейнольдса.

Коэффициент продольного перемешивания раствора рассчитывали по формуле [14]:

$$D_x = 0,57 v^{1,25}, \text{ см}^2/\text{с}. \quad (13)$$

Решение краевой задачи (1)–(10) на ЭВМ осуществляли с помощью однородных консервативных разностных схем.

Для проверки соответствия разработанной математической модели реальному процессу были проведены экспериментальные исследования динамики ионного обмена в системе CuSO_4 — катионит КУ-2-8(На-форма) в односекционных ионообменных аппаратах конической формы. Аппараты были изготовлены из органического стекла высотой $H = 0,4$ м, диаметром водораспределительной решетки $D_p = 0,06$ м, углами раскрытия конуса $\alpha = 14$ и 20° . Опыты проводили при следующих условиях: расход раствора $Q = 10^{-5}$ м³/с;

концентрация раствора сульфата меди $C_{\text{вх}} = 0,01$ кмоль-экв/м³; объем единовременной загрузки катионита в аппарат $\bar{V} = 10^{-4}$ м³. Высота кипящего слоя $H_{\text{к.с}}$ в аппарате с углом раскрытия конуса 14° составляла 0,043 м, а 20° – 0,04 м.

При проведении опытов через аппарат пропускали исходный раствор и через 250 с отбирали на выходе из аппарата пробы очищенного раствора объемом 20 мл, в которых

определяли концентрацию ионов меди методом йодометрического титрования [15]. Экспериментальные выходные данные показаны на рис. 2.

Для проведения расчетов необходимо иметь уравнение изотермы адсорбции. Равновесие ионного обмена в системе $\text{CuSO}_4 - \text{КУ-2-8}(\text{Na-форма})$ изучали в статических условиях [16]. Результаты исследований показаны на рис. 3.

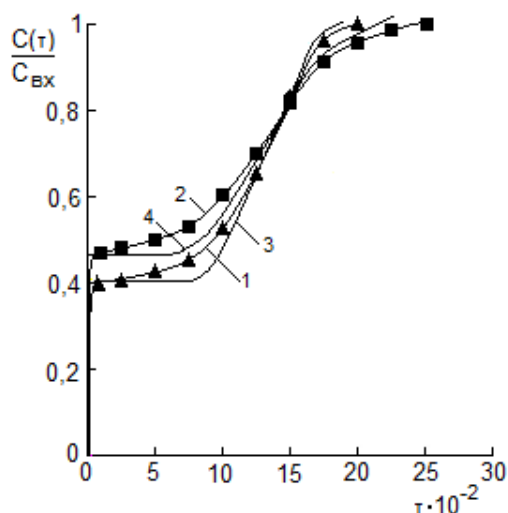


Рис. 2. Выходные кривые обмена $\text{Na}^+ - \text{Cu}^{2+}$ в аппаратах с углом раскрытия конуса 20° (1, 3) и 14° (2, 4):
1, 2 – экспериментальные кривые;
3, 4 – расчетные кривые

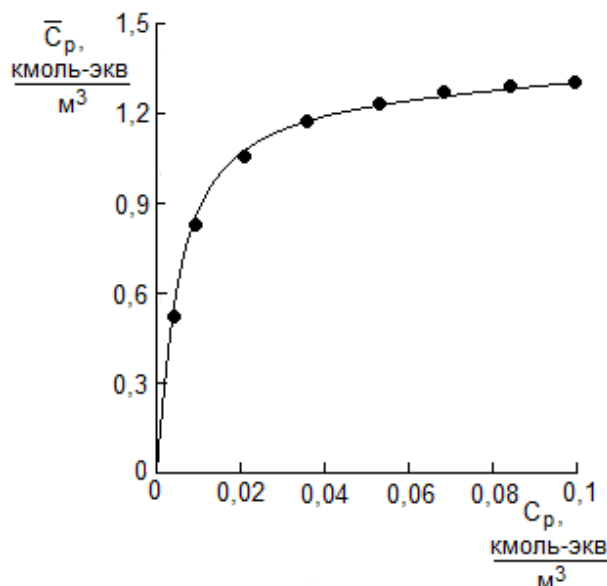


Рис. 3. Изотерма обмена $\text{Na}^+ - \text{Cu}^{2+}$ для сильноокислотного катионита

Экспериментальные данные равновесия ионного обмена обработаны в рамках модели Ленгмюра. Для определения параметров сорбции a_0 и k в уравнении (3) его преобразуем в линейную форму:

$$\frac{C_p}{\bar{C}_p} = \frac{C_p}{a_0} + \frac{1}{a_0 k}. \quad (12)$$

При обработке экспериментальных данных по уравнению (12) в координатах $(C_p/\bar{C}_p - C_p)$ методом наименьших квадратов получены значения $a_0 = 1,4$ кмоль-экв/м³ и $k = 150$ м³/кмоль-экв. Значение коэффициента корреляции составило 0,98.

На рис. 2 приведены в сравнении результаты математического моделирования и экспериментальные данные ионного обмена Na^+ - Cu^{2+} в аппаратах конической формы с кипящим слоем катионита КУ-2-8(На-форма). Расхождение не превышает 15 %.

В работе также были проведены экспериментальные исследования динамики ионного обмена Cu^{2+} - Na^+ в аппарате цилиндрической

формы с псевдоожиженным слоем катионита КУ-2-8(На-форма). Аппарат был изготовлен из органического стекла диаметром 0,06 м. Высота кипящего слоя $H_{\text{к.с}}$ в аппарате составляла 0,053 м. Условия проведения эксперимента были аналогичны опытам в аппаратах конической формы. Полученные выходные кривые приведены на рис. 4.

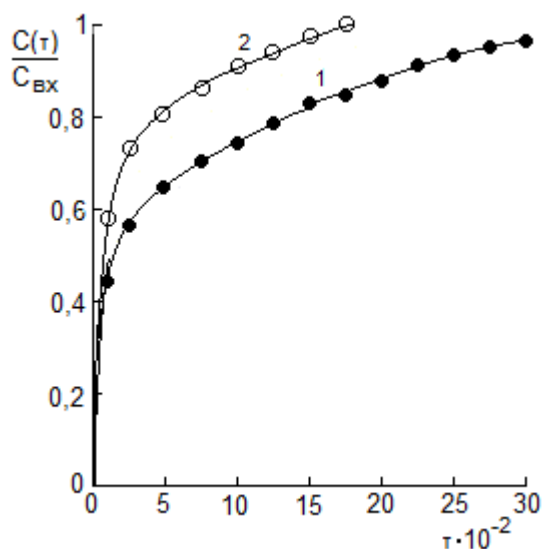


Рис. 4. Выходные кривые ионного обмена Cu^{2+} - Na^+ в аппарате цилиндрической формы с кипящим слоем катионита:
 $C_{\text{вх}}$, кмоль-экв/м³:
1 – 0,01; 2 – 0,05

Из анализа выходных кривых ионного обмена, представленных на рис. 4, следует, что режим работы аппарата цилиндрической формы приближается к режиму идеального вытеснения, для которого характерно максимальное значение средней скорости сорбции ионов меди в начале процесса и минимальное значение на последних стадиях ионообмена [17].

Таким образом, разработанная математическая модель позволяет рассчитать с

приемлемой для инженерной практики погрешностью процесс ионного обмена в односекционном аппарате конической формы с кипящим слоем ионита. Применение такой конструкции аппарата для очистки растворов от ионов меди позволяет существенно снизить обратное перемешивание и повысить эффективность процесса ионного обмена по сравнению с аппаратом цилиндрической формы.

Список литературы

1. 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.
2. Водоподготовка: Справочник / Под ред. С. Е. Беликова. М.: Аква-Терм, 2007. 240 с.
3. Волжинский А. И., Константинов В. А. Регенерация ионитов. Теория процесса и расчет аппаратов. Л.: Химия, 1990. 240 с.
4. Emmanuel J. Zaganianis. Ion Exchange Resins and Adsorbents in Chemical Processing. Books on Demand Editions. 2016. 300 p.

5. Harlada C. E. Ion Exchange: theory and practice. Cambridge: Royal Society of Chemistry, 1994, 285 p.
6. Arup K. SenGupta. Ion Exchange in Environmental Processes: Fundamentals, Applications and Sustainable Technology. John Wiley & Sons, 2017, 497 p.
7. Очистка промышленных сточных вод / А. М. Когановский, Л. А. Кульский, Е. В. Сотникова [и др.]. Киев: Техніка, 1974. 257 с.
8. Натарева С. В., Ларина А. И., Фролова Т. В. Ионообменная очистка воды в аппарате со взвешенным слоем ионита // Современные проблемы гражданской защиты. 2024. № 3 (52). С. 5–12.

9. Иониты в химической технологии. Под ред. Б. П. Никольского и П. Г. Романкова. Л.: Химия, 1982. 416 с.
10. Crank J. The mathematics of diffusion. Oxford: Clarendon press. 1975. 414 p.
11. Wei-Ming Ni. The Mathematics of Diffusion. Society for Industrial and Applied Mathematics. 2011, 122 p.
12. Тодес О. М. Цитович О. Б. Аппараты с кипящим зернистым слоем: Гидравлические и тепловые основы работы. Л.: Химия, 1981. 296 с.
13. Рудобашта С. П. Массоперенос в системе с твердой фазой. М.: Химия, 1980. 248 с.
14. Смирнов Н. Н., Волжинский А. И., Константинов В. А. Расчет и моделирование ионообменных реакторов. Л.: Химия, 1984. 224 с.
15. Алексеев В. Н. Количественный анализ. Под ред. П. К. Агасяна. М.: Альянс. 2007. 504 с.
16. Практикум по ионному обмену: учебное пособие / В. Ф. Селеменев, Г. В. Славинская, В. Ю. Хохлов [и др.]. Воронеж: Изд-во ВГУ, 2004. 160 с.
17. Натареев С. В., Бакин М. А., Снегирев Д. Г. Разработка математической модели ионообменной очистки воды от солей тяжелых металлов в емкостном аппарате // Пожарная и аварийная безопасность. 2021. № 1 (20). С. 27–31.
5. Harlada C. E. Ion Exchange: theory and practice. Cambridge: Royal Society of Chemistry, 1994, 285 p.
6. Arup K. SenGupta. Ion Exchange in Environmental Processes: Fundamentals, Applications and Sustainable Technology. John Wiley & Sons, 2017, 497 p.
7. *Očistka průmyslných stočných vod* [Industrial wastewater treatment] / A. M. Koganovskij, L. A. Kul'skij, E. V. Sotnikova [et al.]. Kiev: Tehnika, 1974, 257 p.
8. Natareev S. V., Larina A. I., Frolova T. V. Ionoobmennaya ochistka vody v aparate so vzveshennym slojem ionita [Ion exchange water purification in a apparatus with a suspended bed of ion exchange]. *Sovremennye problemy grazhdanskoj zashchity*, 2024, vol. 3 (52), pp. 5–12.
9. *Ionity v khimicheskoy tekhnologii* [Ionites in chemical technology] / Otv. red. B. P. Nikolskiy i P. G. Romankov. L.: Khimiya, 1982, 416 p.
10. Crank J. The mathematics of diffusion. Oxford: Clarendon press. 1975. 414 p.
11. Wei-Ming Ni. The Mathematics of Diffusion. Society for Industrial and Applied Mathematics. 2011, 122 p.
12. Todes O. M. Tsitovich O. B. *Apparaty s kipiyashchim zernistym slojem: Gidravlicheskiye i teplovyye osnovy raboty* [Fluidized granular bed apparatuses: Hydraulic and thermal principles of operation]. L.: Khimiya, 1981, 296 p.
13. Rudobashta S. P. *Massoperenos v sisteme s tverdoy fazoy* [Mass transfer in a system with a solid phase]. Moscow: Khimiya, 1980, 248 p.
14. Smirnov N. N., Volzhinskiy A. I., Konstantinov V. A. *Raschet i modelirovaniye ionoobmennyykh reaktorov* [Calculation and modeling of ion-exchange reactors]. L.: Khimiya, 1984. 224 p.
15. Alekseev V. N. *Kolichestvennyy analiz* [Quantitative analysis]. Ed. P. K. Aghasyan. Moscow: AlianC, 2007, 504 p.
16. *Praktikum po ionnomu obmenu: uchebnoye posobiye* [Workshop on ion exchange: textbook]. V. F. Selemeneyev, G. V. Slavinskaya, V. Yu. Khokhlov [et al.]. Voronezh: Izd-vo VGU, 2004, 160 p.
17. Natareev S. V., Bakin M. A., Snegirev D. G. *Razrabotka matematicheskoy modeli ionoobmennoy ochistki vody ot soley tyazhelykh metallov v yemkostnom apparate* [Development of a mathematical model for water purification by the method of ion exchange from salts of heavy metals in a capacitive apparatus]. *Pozharnaya i avariynaya bezopasnost'*, 2021, № 1(20), pp. 27–31.

References

Натареев Сергей Валентинович

ФГБОУ ВО «Ивановский государственный химико-технологический университет»,

Российская Федерация, г. Иваново,

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,

Russian Federation, Ivanovo,

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

Ларина Анастасия Игоревна

ФГБОУ ВО «Ивановский государственный химико-технологический университет»,

Российская Федерация, г. Иваново

аспирант

E-mail: nastyushka300495@yandex.ru

Larina Anastasia Igorevna

Ivanovo State University of Chemistry and Technology,

Russian Federation, Ivanovo

graduate student

E-mail: nastyushka300495@yandex.ru

Фролова Татьяна Владиславовна

Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,

Российская Федерация, г. Иваново

кандидат химических наук, старший преподаватель

E-mail: frolovatanja@mail.ru

Frolova Tatiana Vladislavovna

Federal State Budget Educational Establishment of Higher Education «Ivanovo Fire Rescue Academy

of State Firefighting Service of Ministry of Russian Federation for Civil Defense, Emergencies

and Elimination of Consequences of Natural Disasters»,

Russian Federation, Ivanovo

candidate of chemical sciences, senior lecturer

E-mail: frolovatanja@mail.ru

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

УДК 614.842

**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ РАБОЧИХ ХАРАКТЕРИСТИК НАСОСОВ
В ПРОТИВОПОЖАРНОМ ВОДОСНАБЖЕНИИ
ПРИ РАЗЛИЧНЫХ СПОСОБАХ РЕГУЛИРОВАНИЯ**

В. Б. БУБНОВ, Д. С. РЕПИН

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

В работе рассмотрены способы управления насосными установками путем изменения гидравлических характеристик в системе «насосная станция – водопроводная сеть». Рассмотрена модель рабочих характеристик многонасосных систем в противопожарном водоснабжении при частотном регулировании подачи, а также при применении байпасирования и дроссельного регулирования на нагнетании. Предложены подходы к корректировке гидравлических характеристик для систем пожаротушения при использовании в качестве огнетушащей среды воды с добавками водорастворимых полимерных материалов. Разработаны программно-аппаратные комплексы для исследования рассматриваемых систем.

Предложенные модели составят основу для разработки рекомендаций по оптимизации режимов работы насосов (многонасосных групп), мероприятий по энергосбережению и повышению эффективности работы систем водяного пожаротушения.

Результаты, полученные в работе, представляют интерес для создания актуализированной научно-методической базы, которая будет включать в себя современные расчетные методики, практические рекомендации и способствовать проведению качественных проектных и экспертных работ в области обеспечения пожарной безопасности объектов защиты.

Ключевые слова: насос, противопожарное водоснабжение, водопроводная сеть, моделирование, напорно-расходная характеристика, оптимизация, энергосбережение.

**MATHEMATICAL DESCRIPTION OF OPERATING CHARACTERISTICS OF PUMPS
IN FIRE-FIGHTING WATER SUPPLY WITH VARIOUS REGULATION METHODS**

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 considers the methods of controlling pumping units by changing the hydraulic characteristics in the «pumping station – water supply network» system. The model of the operating characteristics of multi-pump systems in fire-fighting water supply with frequency regulation of the feed, as well as with the use of bypass and throttle regulation on the discharge is considered. Approaches to adjusting the hydraulic characteristics for fire extinguishing systems using water with additives of water-soluble polymeric materials as a fire extinguishing medium are proposed. Software and hardware complexes for studying the systems under consideration have been developed.

The proposed models will form the basis for developing recommendations for optimizing the operating modes of pumps (multi-pump groups), energy saving measures and increasing the efficiency of water fire extinguishing systems.

The results obtained in the work are of interest for creating an updated scientific and methodological base, which will include modern calculation methods, practical recommendations and contribute to the implementation of high-quality design, expert work in the field of ensuring fire safety of protected facilities.

Key words: pump, fire-fighting water supply, water supply network, modeling, pressure-flow characteristic, optimization, energy saving.

Насосы представляют собой важный элемент систем наружного и внутреннего противопожарного водоснабжения. Их применяют в системах водоснабжения внутри зданий и сооружений, в том числе в автоматических системах водяного пожаротушения, в наружном противопожарном водоснабжении объектов защиты, при подаче огнетушащей жидкости в различных насосно-рукавных системах [1, 2].

Характеристики насосов и водопроводной системы, в которой используются насосы, определяют положение рабочей точки. Важное условие энергоэффективного использования насосного оборудования – согласованная работа на водопроводную систему, когда рабочая точка находится в рабочем диапазоне характеристики насоса.

Целью работы является моделирование рабочих характеристик насосных систем с учетом различных способов регулирования работы насосов в противопожарном водоснабжении, что в дальнейшем позволит предложить мероприятия по энергосбережению и повышению эффективности работы систем водяного пожаротушения, обеспечить компьютерную поддержку решения оптимизационных задач для насосных систем.

Анализ практики эксплуатации насосных систем [3] показал наличие нескольких подходов к управлению их работой, регулированию подачи. Используются методы дросселирования и байпасирования на нагнетательной линии. В этом случае изменяется положение рабочей точки в системе «насосная станция-водопроводная сеть» благодаря изменению характеристики водопроводной сети. Значительное распространение получил такой метод регулирования подачи насосов, как частотное регулирование [4]. При данном методе регулирования изменяется рабочая характеристика насосов.

Одним из способов регулирования работы насосов является их совместная работа (последовательная или параллельная). В этом случае многонасосная станция подает жидкость в одну систему. Так, когда создаваемый одним насосом напор недостаточен (случаи перекачки воды на дальние расстояния, подачи в здания повышенной этажности) патрубков насоса (напорный) подключают к патрубку второго насоса (всасывающего), т.е. применяют последовательную работу насосов. Если необходимо увеличить подачу, совместно работает

группа насосов, которые напорными патрубками присоединены к общей схеме (параллельная работа), например подача большого количества воды для обеспечения работы лафетного ствола. Анализ подходов к математическому описанию многонасосных систем [5–8] позволил выявить существующие недостатки. Так, при осуществлении регулирования не учитывается влияние каждого насоса на рабочую характеристику и режим работы многонасосной системы. В работах [7, 8] предложены методики, заключающиеся в графическом сложении рабочих характеристик.

К изменению гидравлических характеристик также приводит добавление в поток воды при ее подаче на пожаротушение водорастворимых полимеров. Они могут быть эффективно использованы в системах водяного пожаротушения для снижения величины гидравлических сопротивлений, неизбежно возникающих при транспортировке огнетушащей жидкости и, как следствие, снижения энергетических затрат [9]. Поэтому при математическом описании таких систем необходимо учитывать влияние свойств воды с добавками полимера на гидравлические характеристики.

Интегрирование математических моделей насосов (многонасосных систем) и водопроводной сети представляется наиболее эффективным вариантом математического описания для решения задач снижения энергетических затрат.

Рассмотрим математическую модель многонасосной станции в системе противопожарного водоснабжения.

Рабочие характеристики насосов описываются полиномами второго порядка (1)–(3).

Напор – подача

$$H_p(Q) = a_1 \cdot Q^2 + a_2 \cdot Q + a_3; \quad (1)$$

Мощность – подача

$$N_p(Q) = b_1 \cdot Q^2 + b_2 \cdot Q + b_3; \quad (2)$$

КПД – подача

$$kpd(Q) = c_1 \cdot Q^2 + c_2 \cdot Q + c_3. \quad (3)$$

Напорно-расходная характеристика насосной станции, состоящей из NP параллельно включенных насосов, имеет вид:

$$HS(Q) = a_1 \cdot (Q/NP)^2 + a_2 \cdot (Q/NP) + a_3. \quad (4)$$

В уравнениях (1)–(4): a , b , c – значения коэффициентов полиномов, характерные для рассматриваемого насоса; NP – количество параллельно работающих насосов в насосной станции; Q – подача, $м^3/ч$.

Для случая частотного регулирования подачи, при изменении частоты вращения вала от n_0 до n_w в формулах (1)–(3) рабочие характеристики описываются следующим образом ($n_p = n_w/n_0$):

$$H_{pn}(Q) = a_1 \cdot Q^2 + a_2 \cdot Q \cdot n_p + a_3 \cdot n_p^2; \quad (5)$$

$$N_{pn}(Q) = b_1 \cdot Q^2 \cdot n_p + b_2 \cdot Q \cdot n_p^2 + b_3 \cdot n_p^3; \quad (6)$$

$$k_{pdn}(Q) = c_1 \cdot Q^2/n_p^2 + c_2 \cdot Q/n_p + c_3. \quad (7)$$

Напорно-расходная характеристика насосной станции, состоящей из NP параллельно включенных насосов, имеет вид:

$$HS_n(Q) = a_1 \cdot (Q/NP)^2 + a_2 \cdot (Q/NP) \cdot n_p + a_3 \cdot n_p^2. \quad (8)$$

В уравнениях (5)–(8): H_{pn} , N_{pn} , k_{pdn} – напор (м), мощность (кВт) и коэффициент полезного действия насосов; n_p – глубина регулирования подачи.

Удельный расход электроэнергии на привод насосов для насосной станции ($кВт \cdot ч/м^3$):

$$W(Q) = NP \cdot N_{pn}(Q)/Q. \quad (9)$$

Гидравлическая характеристика водопроводной сети системы противопожарного водоснабжения, в которую подает воду насосная станция:

$$H_t(Q) = H_g + s \cdot Q^2, \quad (10)$$

где H_g – статический напор, м; s – гидравлическое сопротивление водопроводной сети, $м \cdot (ч/м^3)^2$; Q – подача, $м^3/ч$.

Если применяется байпасирование насосов, то уравнение (10) имеет вид

$$H_{tb}(Q) = H_g + s \cdot k_q \cdot Q^2, \quad (11)$$

где k_q – коэффициент, учитывающий байпасирование.

Коэффициент k_q определяется как отношение расхода, подаваемого в водопроводную сеть к подаче всех работающих в рассматриваемой группе насосов (суммарной подаче).

При дросселировании на линии нагнетания (байпасирование и частотное регулирование отсутствуют) величина гидравлического

сопротивления водопроводной сети увеличивается до следующего значения:

$$s_d = [HS(Q_w) - H_g]/Q_w^2, \quad (12)$$

где Q_w – подача, требуемая потребителям; HS – напор; H_g – статический напор.

Для того чтобы найти подачу насосной станции, требуется решить систему уравнений (8) и (11) относительно подачи Q (при отсутствии байпасирования следует принять $k_q=1$, при отсутствии частотного регулирования – принять $n_p=1$).

Рассмотрим систему для случая транспортировки огнетушащих сред, включающих воду с добавкой полимерного материала. Введение в поток воды раствора полимера может осуществляться путем применения специальных дозаторов, которые используются в установках водопенного тушения. Проведенные экспериментальные исследования с применением полимерных материалов акрилового ряда (полиакриламид, сополимеры на основе акриламида) показали, что эффект снижения гидropотерь в системе при их дозировании перед насосом значительно меньше, чем при дозировании после насоса. Это обстоятельство объясняется деструкцией водного раствора полимерного материала при его прохождении через насос. Перекачка таких огнетушащих жидкостей также сопровождается изменением рабочих характеристик.

Методы корректировки рабочих характеристик насосов с воды на другие, более вязкие среды, разработанные в теории гидромашин, базируются на определении поправочных коэффициентов к основным параметрам насосов (подаче, напору, КПД) в зависимости от числа Рейнольдса Re . Данные эмпирические коэффициенты получают обобщением результатов испытаний центробежных насосов на исследуемых средах с разной вязкостью.

Основоположником в области решения задач по исследованию вязкости перекачиваемой жидкости на работу центробежных насосов является советский ученый Ляпков П. Д. [10]. Исследователи установили [10, 11], что характеристика насоса на исследуемой жидкости в большей степени отклоняется от характеристики работы на воде при меньших значениях числа Рейнольдса.

Число Рейнольдса при моделировании исследуемых систем удобно использовать в виде уравнения (13).

$$Re = \frac{\sqrt[3]{n \cdot Q^2}}{\nu}, \quad (13)$$

где Q – подача жидкости, $\text{м}^3/\text{с}$; n – частота вращения вала насоса, $\text{об}/\text{мин}$; ν – коэффициент кинематической вязкости жидкости, $\text{м}^2/\text{с}$.

Если при работе центробежного насоса на воде его параметры – напор H , подача Q и коэффициент полезного действия k_{pd} , то пересчет рабочих характеристик на растворы полимеров можно осуществить по соотношениям (14)–(16), где коэффициенты k_H , k_Q , k_k вычисляются по эмпирическим зависимостям для данного раствора полимера, представляющим собой функции от числа Рейнольдса.

$$H_p = k_H \cdot H; \quad (14)$$

$$Q_p = k_Q \cdot Q; \quad (15)$$

$$KPD_p = k_k \cdot k_{pd}, \quad (16)$$

где H , Q , k_{pd} – напор (м), подача ($\text{м}^3/\text{с}$) и коэффициент полезного действия насоса при работе на воде; H_p , Q_p , KPD_p – напор (м), подача ($\text{м}^3/\text{с}$) и коэффициент полезного действия насоса при работе насоса на жидкости с полимерной добавкой; k_H , k_Q , k_k – эмпирические коэффициенты.

Для учета в модели влияния полимерных добавок на характеристики насосных систем с учетом рассмотренного подхода, необходимо иметь информацию по вязкости при разных концентрациях водных растворов полимеров, в частности полиакриламида. Нами проведен ряд экспериментальных исследований, которые позволили определить значение

вязкости и получить зависимости приведенной вязкости от концентрации водного раствора полимера (рис. 1). Для проведения численных исследований работы насосных систем разработаны программно-аппаратные комплексы, в основе которых – предложенные математические модели.

Комплексы для исследования насосов (многонасосных групп) включают в себя блоки ввода исходных, управляющих параметров и вывода результатов экспериментального исследования, а также схемы экспериментальных стендов. Схема установки и блок вывода результатов исследований разработанного комплекса для испытания центробежного насоса представлен на рис. 2, комплекса для исследования работы многонасосных систем – на рис. 3.

Программно-аппаратные комплексы позволяют определять параметры работы насоса, в том числе насосных групп (при последовательном и при параллельном соединении) при разных режимах работы и получать графические зависимости в виде характеристик насосов и характеристики водопроводной сети, определять положение рабочей точки, отвечающей оптимальной работе насосов в рассматриваемой системе.

Блок ввода регулируемых параметров позволяет исследовать вопросы управления как характеристиками насосов (в частности, изменением числа оборотов приводных двигателей), так и характеристикой водопроводной сети отмеченными выше способами.

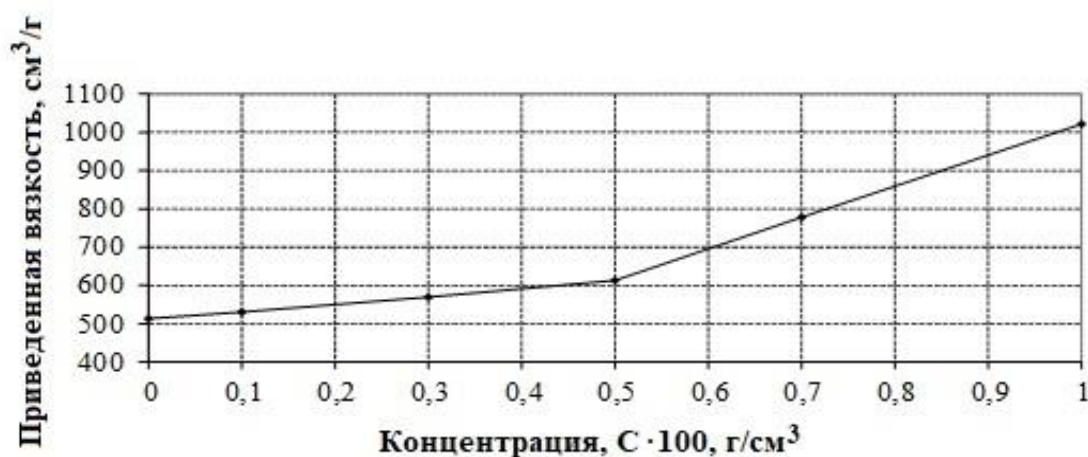


Рис. 1. Зависимость вязкости от концентрации полиакриламида в водном растворе

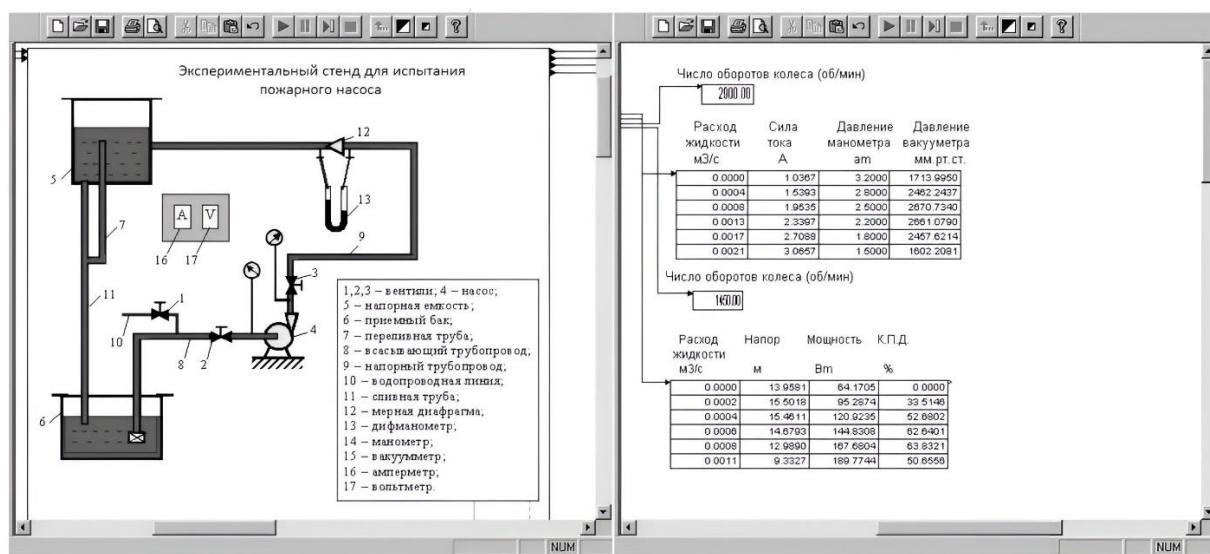


Рис. 2. Интерфейс программно-аппаратного комплекса для испытания центробежного насоса

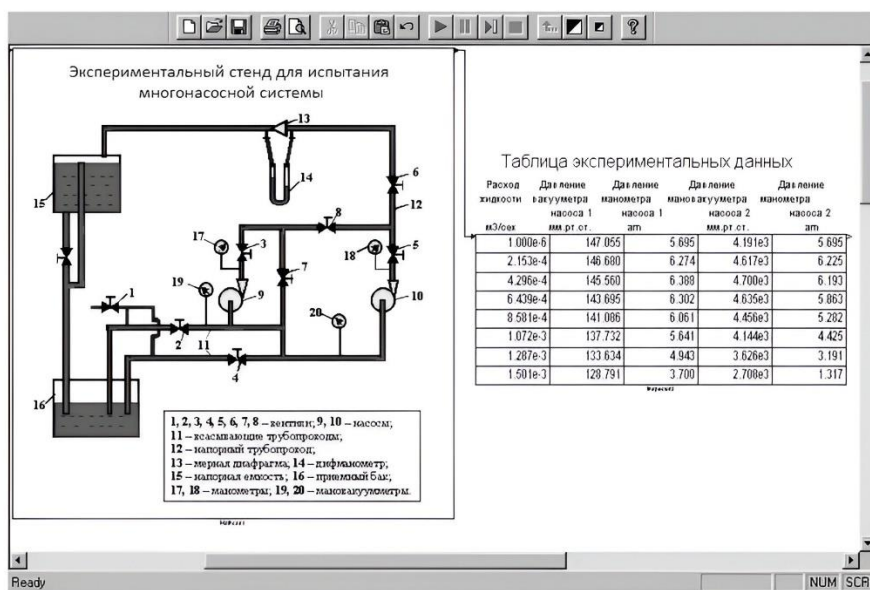


Рис. 3. Интерфейс программно-аппаратного комплекса для исследования характеристик многонасосных систем

Для определения значений коэффициентов полиномов в уравнениях предложенной математической модели используются фактические характеристики (принимаются из технического паспорта насосов или их получают в результате обработки опытных данных при проведении испытаний насосов, в том числе с помощью разработанных программно-аппаратных комплексов).

Различные способы регулирования водопроводной сети, представленные выше,

учитываются в модели соответствующим изменением величины гидравлического сопротивления – уравнения (10)-(12).

Некоторые результаты численных исследований (напорно-расходные характеристики насоса при его работе на воде и на исследуемой жидкости и гидравлические характеристики водопроводной сети) представлены на рис. 4.

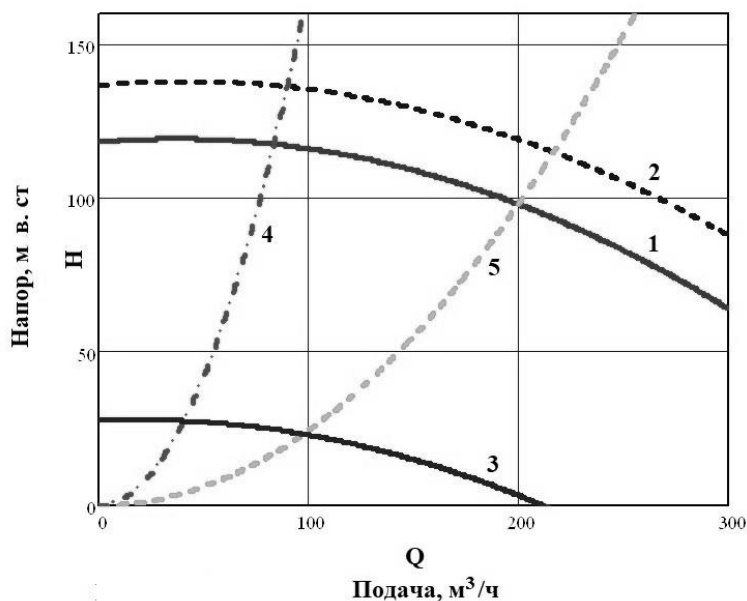


Рис. 4. Напорно-расходные характеристики исследуемой системы (центробежных насосов и водопроводной сети):
 1 – напорно-расходная характеристика насоса без регулирования частоты вращения при работе на исследуемой жидкости;
 2 – напорно-расходная характеристика насоса без регулирования частоты вращения при работе на воде;
 3 – напорно-расходная характеристика насоса при работе на исследуемой жидкости с регулированием частоты вращения;
 4 – гидравлическая характеристика водопроводной сети при дросселировании;
 5 – гидравлическая характеристика водопроводной сети без дросселирования

Из рис. 4 наглядно видно влияние водорастворимой полимерной добавки на рабочую характеристику насоса, а также возможности регулирования работы насоса методом частотного регулирования. Также показано, как изменяется характеристика водопроводной сети при дросселировании.

В дальнейших исследованиях предложенное математическое описание рабочих характеристик насосных систем в противопожарном водоснабжении и разработанные программно-аппаратные комплексы будут использоваться при изучении процессов регулирования подачи рассматриваемых систем. Модели составят основу для разработки подходов к

решению оптимизационных задач для насосных систем и рекомендаций по оптимизации режимов их эксплуатации, решения задач настройки пожарной насосной станции методом частотного регулирования и связанной с ней экономической задачи.

Результаты, полученные в работе, представляют интерес для создания актуализированной научно-методической базы, которая будет включать в себя современные расчетные методики, практические рекомендации и способствовать проведению качественных проектных и экспертных работ в области обеспечения пожарной безопасности объектов защиты.

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. Бубнов В. Б., Репин Д. С. Анализ практики эксплуатации групп совместно работающих насосов в противопожарном водоснабжении и подходов к аналитическому описанию их характеристик // Современные проблемы гражданской защиты. 2023. № 3 (48). С. 55–61.

4. Войтов И. В., Еловик В. Л. Методика моделирования режимов работы центробежных насосов, работающих с переменной частотой вращения рабочего колеса // Водоснабжение и санитарная техника. 2024. № 12. С. 16–21. DOI: 10.35776/VST.2024.12.03

5. Барбул М. Л., Староверов С. В., Феоктистов А. Ю. Современные алгоритмы управления многонасосными станциями // Энергосбережение и водоподготовка. 2018. № 5. С. 9–15.

6. Multiobjective Optimization of Low-Specific-Speed Multistage Pumps by Using Matrix Analysis and CFD Method / Si Qiaorui, Yuan

Shouqi, Yuan Jianping [et al.]. Journal of Applied Mathematics, vol. 2013, 10 p.

7. Турк В. И., Карелин В. Я., Минаев А. В. Насосы и насосные станции. М: Стройиздат, 1986. 304 с.

8. Чебаевский В. Ф., Вишневский К. П., Накладов Н. Н. Проектирование насосных станций и испытание насосных установок. М.: Колос, 2000. 320 с.

9. Абросимов Ю. Г. Гидравлика. М.: Академия ГПС МЧС России, 2016. 312 с.

10. Ляпков П. Д. О влиянии вязкой жидкости на характеристику погружных центробежных насосов // Труды ВНИИ. 1964. Выпуск XLI. С. 71–107.

11. Боровский Б. И., Дихтярь Т. В. Оценка экономических показателей центробежных насосов при работе на вязких жидкостях // Строительство и техногенная безопасность. 2018. № 10 (62). С. 127–133.

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* [Pumping stations]. Uchebnoe posobiye. Ivanovo: OONI Iv GPS MChS Rossii, 2012. 129 p.

3. Bubnov V. B., Repin D. S. Analiz praktiki ekspluatatsii grupp sovmestno rabotayushchikh nasosov v protivopozharnom vodosnabzhenii i podkhodov k analiticheskomu opisaniyu ikh kharakteristik [Analysis of the practice of operating groups of jointly operating pumps in fire water supply and approaches to the analytical description of their characteristics]. *Sovremennyye problemy grazhdanskoy zashchity*, 2023, vol. 3 (48), pp. 55–61.

4. Voytov I. V., Yelovik V. L. Metodika modelirovaniya rezhimov raboty tsentrobezhnykh nasosov, rabotayushchikh s peremennoy chastotoy

vrashcheniya rabocheho kola [Methodology for modeling operating modes of centrifugal pumps operating with variable impeller speed]. *Vodosnabzheniye i sanitarnaya tekhnika*, 2024, issue 12, pp. 16–21. DOI: 10.35776/VST.2024. 12.03

5. Barbul M. L., Staroverov S. V., Feoktistov A. Yu. Sovremennyye algoritmy upravleniya mnogonasosnymi stantsiyami [Modern algorithms for controlling multi-pump stations]. *Energobezopasnost' i vodopodgotovka*, 2018, issue 5, pp. 9–15.

6. Multiobjective Optimization of Low-Specific-Speed Multistage Pumps by Using Matrix Analysis and CFD Method / Si Qiaorui, Yuan Shouqi, Yuan Jianping [et al.]. Journal of Applied Mathematics, vol. 2013, 10 p.

7. Turk V. I., Karelin V. Ya., Minayev A. V. *Nasosy i nasosnyye stantsii* [Pumps and pumping stations]. Moscow: Stroyizdat, 1986. 304 p.

8. 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.

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

10. Lyapkov P. D. O vliyaniy vyazkoy zhidkosti na kharakteristiku pogruzhnykh tsentrobezhnykh nasosov [On the influence of viscous liquid on the characteristics of submersible centrifugal pumps]. *Trudy VNII*, 1964, issue XLI, pp. 71–107.

11. Borovskiy B. I., Dikhtyar' T. V. Otsenka ekonomicheskikh pokazateley tsentrobezhnykh nasosov pri rabote na vyazkikh zhidkostyakh [Evaluation of economic indicators of centrifugal pumps when operating on viscous liquids]. *Stroitel'stvo i tekhnogennaya bezopasnost'*, 2018, vol. 10 (62), pp. 127–133.

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 614.842.68

ВЛИЯНИЕ СРЕДСТВ ЗАЩИТЫ РУК ГАЗОДЫМОЗАЩИТНИКОВ НА МЫШЕЧНУЮ СИЛУ ХВАТА ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ СПАСАТЕЛЬНОГО УСТРОЙСТВА

Б. Б. ГРИНЧЕНКО, В. Е. ИВАНОВ

Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,

Российская Федерация, г. Иваново

E-mail: grinchenko.borya@mail.ru, vitaliyivanov@yandex.ru

Настоящее исследование посвящено изучению влияния средств индивидуальной защиты рук (СИЗР) на мышечную силу хвата у газодымозащитников. В эксперименте с участием 130 добровольцев в возрасте 19–25 лет проводились замеры силы сжатия кистей с использованием ручного динамометра ДРП-90 в двух условиях: без СИЗР и в СИЗР. Полученные данные выявили статистически значимое снижение силовых показателей: для правой руки среднее значение уменьшилось с 410 ± 80 Н до 300 ± 70 Н (на 27 %), для левой – с 370 ± 90 Н до 280 ± 70 Н (на 24 %).

Дисперсионный анализ по критерию Фишера подтвердил высокую степень влияния фактора использования СИЗР ($F_{\text{наб.}} > F_{\text{кр.}}$ при $p < 0,001$). Дополнительно была установлена устойчивая асимметрия в силовых показателях между руками, сохраняющаяся в обоих условиях испытаний. Особое внимание в работе уделено практическим последствиям выявленного снижения силы хвата, которые могут затруднять выполнение критически важных операций, таких как подключение спасательного устройства.

Ключевые слова: сила хвата, средства индивидуальной защиты рук, динамометрия, газодымозащитники, эргономика.

INFLUENCE OF FIREFIGHTERS' HAND PROTECTION ON MUSCLE GRIP STRENGTH WHEN OPERATING A RESCUE DEVICE

B. B. GRINCHENKO, V. E. IVANOV

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: grinchenko.borya@mail.ru, vitaliyivanov@yandex.ru

The present study investigates the effects of personal hand protection equipment (PPE) on grip muscle strength in firefighters. In an experiment involving 130 volunteers aged 19–25 years, hand compression force measurements were made using a DRP-90 hand dynamometer under two conditions: without PPE and in PPE. The obtained data revealed a statistically significant decrease in strength indices: for the right arm the mean value decreased from 410 ± 80 Н to 300 ± 70 Н (by 27 %), for the left arm – from 370 ± 90 Н to 280 ± 70 Н (by 24 %).

Fisher's test analysis of variance confirmed a high degree of influence of the factor of PPE utilization ($F_{\text{наб.}} > F_{\text{кр.}}$ at $p < 0.001$). Additionally, a consistent asymmetry in strength performance between the hands was found to persist in both test conditions. The paper focuses on the practical implications of the identified reduction in grip strength, which can make it difficult to perform critical operations such as attaching a rescue device.

Keywords: grip strength, personal hand protection equipment, dynamometry, firefighters, ergonomics.

Введение

Тушение пожаров и проведение аварийно-спасательных работ требует от пожарно-спасательных подразделений не только высокого уровня профессионального развития, но и значительной физической подготовленности. Это выражается множеством факторов, таких

как: работа в специальной защитной экипировке, которая включает в себя специальную защитную одежду пожарных, дыхательные аппараты со сжатым воздухом (ДАСВ), применением различного вида пожарного оборудования и инструмента, а также работой в токсичной и агрессивной среде пожара. Все это оказывает

непосредственное влияние на эффективность работы пожарно-спасательных подразделений в лице газодымозащитников, которые сочетают все эти факторы в процессе выполнения боевой задачи на пожаре. Стоит отметить, что общая физическая подготовленность газодымозащитников зависит от их уровня выносливости в которую вовлечены крупные группы мышц [1, 2], однако выполнение любой практической задачи, напрямую связано с включением в интенсивную работу рук (кистей). К примеру, газодымозащитники используют мышечную силу хвата:

- для переноски пожарного оборудования и инструмента;
- при работе с различными приборами тушения;
- при работе с гидравлическим и ручным инструментом;
- при спуске / подъеме пострадавших на руках или при помощи специального оборудования;
- при использовании ручных пожарных лестниц.

Немаловажным аспектом является эксплуатация спасательного устройства, которое используется газодымозащитниками для спасения пострадавших путем вывода или выноса их из непригодной для дыхания среды (НДС). Использование спасательного устройства подразумевает его подключение к адаптеру или тройнику ДАСВ, с целью подачи воздуха в маску пострадавшему [3, 4, 5]. При подключении шланга редуцированного давления спасательного устройства воздухопроводная система ДАСВ находится под давлением, что создает определенное вида трудности. Сам процесс подключения в обязательном порядке выполняется в средствах индивидуальной защиты рук пожарных (СИЗР) с целью соблюдения требований правил по охране труда. В таких случаях не всегда получается подключить спасательное устройство к ДАСВ с первого раза, а за счет наличия давления в воздухопроводной системе и заламывания шланга редуцированного давления он может лопнуть.

Проблематика работы кисти рук с учетом специфики профессиональной деятельности является достаточно актуальной, которую затрагивают отечественные и зарубежные ученые в своих исследованиях. Например, в работе [6] авторы представили результаты проведенного сравнительного анализа, показателей мышечной силы кисти рук при использовании специальных защитных экипировок на руки маскрестлеров. В ходе анализа было установлено, что использование защитных гимнастических накладок, атлетических перчаток и самодельных накладок существенно не влияют на силовые показатели рук у маскрестлеров.

В работах [7, 8] авторы провели анализ требований нормативных правовых актов и анализ некоторых СИЗР, применяемых в Республике Беларусь и за рубежом, с целью возможной модернизации пакета материалов по подбору оптимальных эргономических решений, по свойствам, физико-механическим показателям материала верха, а также особенностям технологических решений производства ткани из термостойкого волокна. Разработаны различные экспериментальные варианты конструкций СИЗР, в ходе которых были установлены преимущества и недостатки, с целью разработки их оптимальной модели.

В работе [9] рассмотрена комплексная методика испытаний средств индивидуальной защиты рук, ног, головы пожарного при сочетанном воздействии экстремально отрицательных температур, ветровых нагрузок и воды при намокании во время тушения. Предложены критерии оценки результатов климатических испытаний средств индивидуальной защиты пожарных.

В работах зарубежных авторов [11–14] было установлено, что усталость после выполнения задач – симуляция рабочих задач (например, перенос оборудования, использование инструментов) приводит к снижению силы хвата из-за мышечного утомления. Некоторые модели перчаток (например, более гибкие или эргономичные) оказывают меньшее негативное влияние на силу хвата, чем традиционные огнестойкие. Перчатки затрудняют выполнение точных движений, особенно в тестах на мелкую моторику (например, сборка мелких деталей). Чем толще материал перчаток, тем сильнее страдает ловкость. Холод плюс защитные перчатки увеличивают снижение силы хвата по сравнению с работой в нормальных условиях. Точность и скорость выполнения задач (например, работа с инструментами) ухудшаются из-за комбинации холода и ограниченной подвижности в перчатках.

Однако на сегодняшний день взаимосвязь влияния СИЗР на мышечную силу хвата газодымозащитников до конца не установлена.

Цель исследования – оценить влияние СИЗР газодымозащитников на мышечную силу хвата без учета выполнения физической нагрузки. Учитывая актуальность рассматриваемой тематики, авторы ставили перед собой следующие задачи:

1. Определить эмпирические значения силы сжатия кистей газодымозащитников с использованием и без использования СИЗР.
2. Определить значимость фактора влияния СИЗР газодымозащитников на силу хвата при выполнении мышечной работы на сжатие.

Методика и организация исследования

Исследование проводилось в закрытом спортивном комплексе Ивановской пожарно-спасательной академии ГПС МЧС России, при температуре окружающей среды 25-28 °С. В исследовании принимали участие 130 газодымозащитников в возрасте от 19 до 25 лет. Сценарий включал в себя выполнение работы по сжатию плоскопружинного ручного динамометра (ДРП-90) на вытянутой руке поочередно сначала правой, потом левой рукой без использования СИЗР

Результаты исследования и их обсуждение

В ходе эксперимента были получены параметры силы сжатия кистей газодымозащитников.

Исходя из полученных данных ($n=130$) была произведена их оценка достоверности по критерию Стьюдента, результаты которого представлены в табл. 1. Методика расчета сформированных значений была получена на основе [5].

В ходе оценки достоверности по критерию Стьюдента полученных результатов эмпирического наблюдения в количестве $n=130$, были отсеяны выпадающие значения (выбросы), соответственно количество данных сократилось до $n=120$ для правой руки и $n=116$ для левой руки.

Для наглядности интерпретации результатов эмпирического наблюдения построим графики (рис. 1, 2), на которых представим силу сжатия кистей без СИЗР / в СИЗР, а также их средние значения.

Таблица 1. Оценка достоверности по критерию Стьюдента

Сила сжатия без СИЗР			Сила сжатия в СИЗР	
	Правая рука	Левая рука	Правая рука	Левая рука
Уровень значимости, α	0,1	0,1	0,1	0,1
Объем выборки, n	130	130	130	130
Средняя ошибка разности, t_s	1,65	1,65	1,65	1,65
Средние арифметическое, X_{cp} , Н	412,3	375,7	298	278
Стандартное отклонение σ , Н	80,6	87,8	68,3	69,3

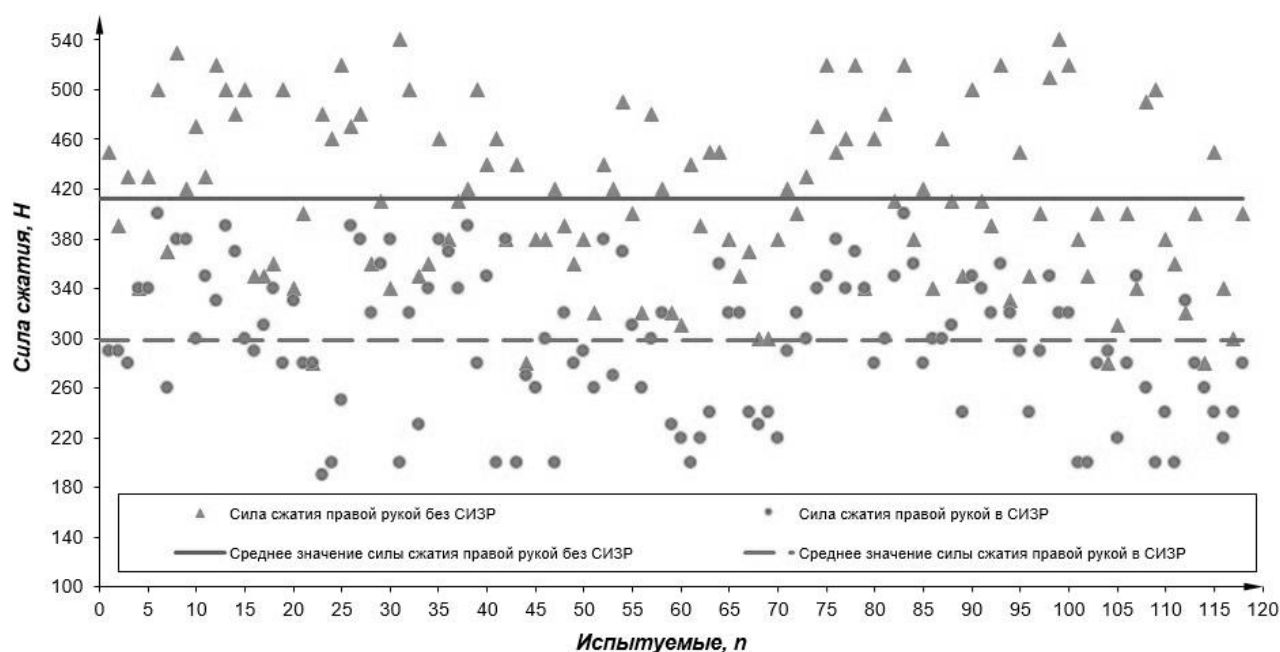


Рис. 1. Результаты эмпирического наблюдения для правой руки

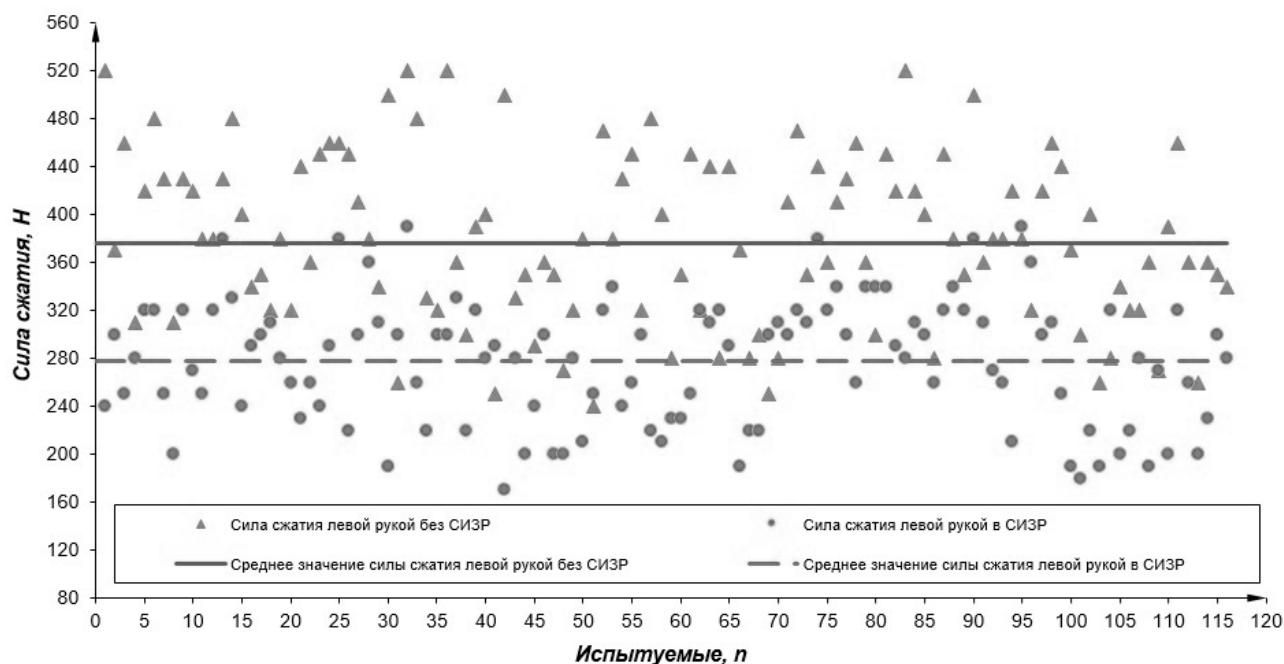


Рис. 2. Результаты эмпирического наблюдения для левой руки

Оценку значимости использования СИЗР газодымозащитников произведем с применением критерия Фишера (табл. 2, 3).

Исходя из расчетных значений по критерию Фишера (табл. 2, 3) видно, что $F_{\text{наб}} > F_{\text{кр}}$ во всех случаях, которые составляют для правой руки $182,85 > 3,88$, для левой руки $160,21 > 3,88$.

Поэтому можно утверждать, что фактор использования СИЗР газодымозащитников оказывает значимое влияние на их мышечную силу хвата без учета выполнения физической нагрузки.

Для наглядности полученных данных представим полученные значения дисперсионного анализа в виде бокс-плота (рис. 3).

Таблица 2. Результаты дисперсионного анализа правой руки

Однофакторный дисперсионный анализ						
Группы	Счет	Сумма, ΣH	Среднее, $\bar{H}$	Дисперсия, H^2		
Правая рука без СИЗР	120	49390	411,5	453,6		
Правая рука в СИЗР	120	35210	293,4	462,7		
Дисперсионный анализ						
Источник вариации	Сумма квадратов, ΣS	Число степеней свободы, df	Среднее значение, MS	Наблюдаемое значение критерия Фишера, $F_{\text{наб}}$	Вероятность ошибки, P	Критическое значение критерия Фишера, $F_{\text{кр}}$
Между группами	8378,12	1	8378,12	182,85	$2,71 \cdot 10^{-31}$	3,88
Внутри групп	10904,98	238	45,82			
Итого	19283	239				

Таблица 3. Результаты дисперсионного анализа левой руки

Однофакторный дисперсионный анализ						
Группы	Счет	Сумма, ΣH	Среднее, $\bar{H}$	Дисперсия, H^2		
Левая рука без СИЗР	116	44130	380,4	494,6		
Левая рука в СИЗР	116	32170	277,3	275,0		
Дисперсионный анализ						
Источник вариации	Сумма квадратов, SS	Число степеней свободы, df	Среднее значение, MS	Наблюдаемое значение критерия Фишера, $F_{наб.}$	Вероятность ошибки, P	Критическое значение критерия Фишера, $F_{кр.}$
Между группами	6165,58	1	6165,58	160,21	$3,24 \cdot 10^{-28}$	3,88
Внутри групп	8851,5	230	38,48			
Итого	15017,09	231				

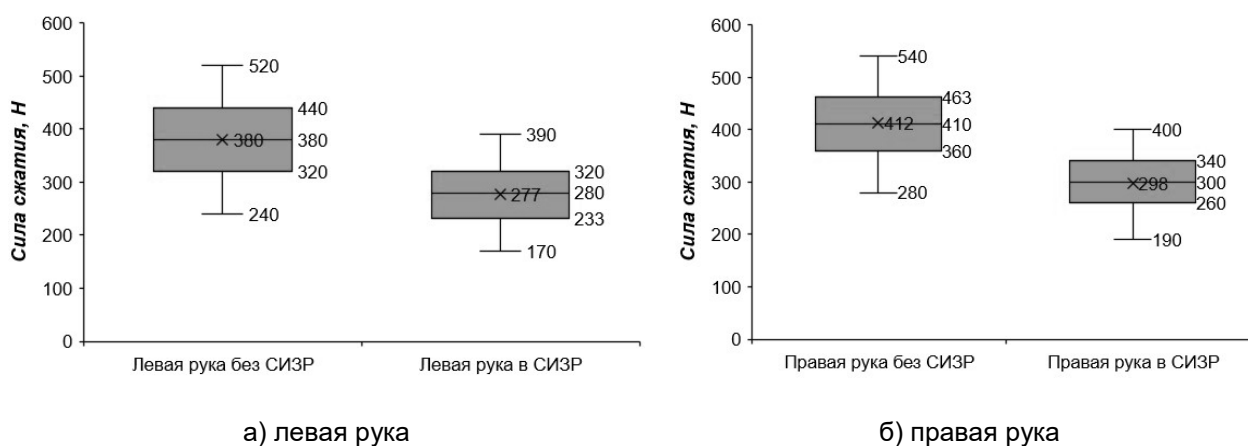


Рис. 3. График рассеивания эмпирических значений силы сжатия кистей без СИЗР / в СИЗР

Выводы

В ходе исследования, в котором приняло участие 130 добровольцев была выполнена оценка влияния СИЗР газодымозащитников на мышечную силу хвата без учета физической нагрузки. По результатам исследования было установлено:

1. Сила сжатия газодымозащитников для правой руки без СИЗР составляет 410 ± 80 Н, а для левой руки 370 ± 90 Н. Сила сжатия газодымозащитников для правой руки в СИЗР составляет 300 ± 70 Н, а для левой руки 280 ± 70 Н. В обоих случаях сила сжатия левой рукой меньше.

2. При помощи однофакторного дисперсионного анализа по критерию Фишера было определено, что использование СИЗР газодымозащитников оказывает значимое влияние на

их мышечную силу хвата без учета выполнения физической нагрузки.

3. Потеря силы хвата для правой руки в СИЗР варьируется от 24,5–30 %, что в среднем составляет 26,82 %. Потеря силы хвата для левой руки в СИЗР варьируется от 23,9–25 %, что в среднем составляет 24,32 %.

Полученные результаты свидетельствуют о том, что при работе со спасательным устройством газодымозащитники будут испытывать трудности при его подключении к ДАСВ, что может вылиться в негативный сценарий ввиду долгого подсоединения спасательного устройства (не с первой попытки), возможному нарушению целостности шланга редуцированного давления ввиду его перегиба при работе в СИЗР.

Список литературы

1. Влияние физических нагрузок на показатели дыхания и частоты сердечных сокращений у курсантов при работе в дыхательных аппаратах со сжатым воздухом / Р. М. Шипилов, Б. Б. Гринченко, Д. Ю. Захаров [и др.] // Пожарная и аварийная безопасность. 2023. № 4(31). С. 46–55. EDN JDPQIT.

2. Каврига С. Г. Методики оценки физической подготовленности пожарных и спасателей для работы в средствах индивидуальной защиты органов дыхания // Сибирский пожарно-спасательный вестник. 2022. № 1(24). С. 100–109. DOI: 10.34987/vestnik.sibpsa.2022.83.23.009. EDN WEEHXA.

3. Перспективные способы защиты газодымозащитников в непригодной для дыхания среде при выходе из строя их штатных дыхательных аппаратов / Р. А. Кисляков, И. А. Карпова, Ю. Н. Маслов [и др.] // Гражданская оборона на страже мира и безопасности: материалы V Международной научно-практической конференции, посвященной Всемирному дню гражданской обороны. В четырех частях, Часть II. М.: Академия Государственной противопожарной службы МЧС России, 2021. С. 100–104. EDN: NHELAX.

4. Прогнозирование параметров работы участников тушения пожара на примере предприятий текстильной промышленности / Б. Б. Гринченко, Р. М. Шипилов, М. О. Баканов [и др.] // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2024. № 1(409). С. 164–173. DOI: 10.47367/0021-3497_2024_1_164. EDN: MKSWYG.

5. Методика оценки времени выполнения нормативов по профессиональной подготовке пожарных / С. Г. Казанцев, Б. Б. Гринченко, Д. С. Катин [и др.] // Современные проблемы гражданской защиты. 2022. № 4(45). С. 29–40. EDN: INWOVC.

6. Уарова А. П., Захаров А. А., Колодезникова М. Г. Влияние использования защитной экипировки на мышечную силу кисти рук // Международные спортивные игры «Дети Азии» – фактор продвижения идей Олимпизма и подготовки спортивного резерва: материалы международной научной конференции, посвященной 20-летию I Международных спортивных игр «Дети Азии» и 120-летию Олимпийского движения в стране. Якутск: ФГБОУ ВО «Чурапчинский государственный институт физической культуры и спорта», 2016. С. 289–290. EDN: WZCXKR.

7. Лукьянов А. С., Шатилов Ю. С., Астахов С. П. Анализ требований к средствам защиты рук и путей их совершенствования // Чрезвычайные ситуации: предупреждение и

ликвидация. 2020. № 1 (47). С. 172–178. EDN PWZOPQ.

8. Доработка конструкции средств индивидуальной защиты рук спасателя и проведение испытаний разработанных образцов с целью определения оптимальной модели / А. С. Лукьянов, Ю. С. Шатилов, Н. В. Цедик [и др.] // Чрезвычайные ситуации: предупреждение и ликвидация. 2021. № 2 (50). С. 171–177. EDN OXEJXU.

9. Комплексная методика климатических испытаний средств индивидуальной защиты пожарных. Критерии оценки / В. И. Логинов, Р. А. Кисляков, К. Э. Архиреев [и др.] // Актуальные проблемы пожарной безопасности: материалы XXXVI Международной научно-практической конференции, посвященной 375-й годовщине образования пожарной охраны России. М.: Всероссийский научно-исследовательский институт противопожарной обороны МЧС РФ, 2024. С. 712–717. EDN QPYOPI.

10. Ghasemi F. et al. Investigation of the Effect of Different Firefighting Gloves on the Dexterity of Hands and Fingers. Journal of Occupational Hygiene Engineering Volume, 2019, vol. 6, issue 3, pp. 54–64.

11. Lanham S. The Impact of Gloves and Simulated Occupational Tasks on Handgrip Strength in Structural Firefighters. 2022.

12. The Impact of Gloves and Occupational Tasks on Handgrip Strength in Structural Firefighters. International Journal of Exercise Science, 2023, vol. 16, issue 4. DOI: 10.70252/xzkt3400. EDN: UJLZQM.

13. Khanlari P., Ghasemi F., Heidarimoghdam R. Protective gloves, hand grip strength, and dexterity tests: A comprehensive study. Heliyon, 2023, vol. 9, issue 2, pp. e13592. DOI: 10.1016/j.heliyon.2023.e13592. EDN: ZFBCQD.

14. Yang J., Yan X. Effects of firefighters' protective gloves on physiological responses, psychological responses, and manual performance in a cold environment. Journal of Safety Science and Resilience, 2024. DOI: 10.1016/j.jnlssr.2024.07.002. EDN: INPNNV.

References

1. Vliyaniye fizicheskikh nagruzok na pokazateli dykhaniya i chastoty serdechnykh sokrashcheniy u kursantov pri rabote v dykhatel'nykh apparatakh so szhatym vozdukhom [Effect of physical activity on respiratory and heart rate indices in cadets while working in compressed air breathing apparatuses] / R. M. Shipilov, B. B. Grinchenko, D.Yu. Zakharov [et al.]. *Pozharnaya i avariynaya bezopasnost'*, 2023, vol. 4 (31), pp. 46–55.

2. Kavriga S. G. Metodiki otsenki fizicheskoy podgotovlennosti pozharnykh i spasateley dlya raboty v sredstvakh individual'noy zashchity organov dykhaniya [Methods for assessing the physical fitness of firefighters and rescuers to work in personal respiratory protection equipment]. *Sibirskiy pozharo-spasatel'nyy vestnik*, 2022, vol. 1(24), pp. 100–109. DOI: 10.34987/vestnik.sibpsa.2022.83.23.009.
3. Perspektivnyye sposoby zashchity gazodymozashchitnikov v neprigodnoy dlya dykhaniya srede pri vykhode iz stroya ikh shtatnykh dykhatel'nykh apparatov [Perspective methods of protection of gas smoke defenders in unfit for breathing environment in case of failure of their regular breathing apparatuses] / R. A. Kislyakov, I. A. Karpova, Yu. N. Maslov [et al.]. *Grazhdanskaya oborona na strazhe mira i bezopasnosti: materialy V Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, posvyashchennoy Vsemirnomu dnyu grazhdanskoy oborony. V chetyrekh chastyakh. Vol. II*. Moscow: Akademiya Gosudarstvennoy protivopozharnoy sluzhby MCHS Rossi, 2021, pp. 100–104.
4. Prognozirovaniye parametrov raboty uchastnikov tusheniya pozhara na primere predpriyatiy tekstil'noy promyshlennosti [Prediction of parameters of work of participants of fire extinguishing on the example of enterprises of textile industry] / B. B. Grinchenko, R. M. Shipilov, M. O. Bakanov [et al.]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Tekhnologiya tekstil'noy promyshlennosti*, 2024, vol. 1 (409), pp. 164–173. DOI: 10.47367/0021-3497_2024_1_164.
5. Metodika otsenki vremeni vypolneniya normativov po professional'noy podgotovke pozharnykh [Methodology for assessing the time of fulfillment of standards for professional training of firefighters] / S. G. Kazantsev, B. B. Grinchenko, D. S. Katin [et al.]. *Sovremennyye problemy grazhdanskoy zashchity*, 2022, vol. 4 (45), pp. 29–40. EDN: INWOVC.
6. Uarova A. P., Zakharov A. A., Kolodeznikova M. G. Vliyaniye ispol'zovaniya zashchitnoy ekipirovki na myshechnuyu silu kisti ruk [The effect of protective equipment use on hand muscle strength]. *Mezhdunarodnyye sportivnyye igry «Deti Azii» – faktor prodvizheniya idey Olimpizma i podgotovki sportivnogo rezerva: materialy mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii, posvyashchennoy 20-letiyu I Mezhdunarodnykh sportivnykh igr «Deti Azii» i 120-letiyu Olimpiyskogo dvizheniya v strane*. Yakutsk: FGBOU VO «Churapchinskiy gosudarstvennyy institut fizicheskoy kul'tury i sporta», 2016, pp. 289–290.
7. Luk'yanov A. S., Shatilov Yu. S., Astashov S. P. Analiz trebovaniy k sredstvam zashchity ruk i putey ikh sovershenstvovaniya [Analysis of hand protection requirements and ways to improve them]. *Chrezvychaynyye situatsii: preduprezhdeniye i likvidatsiya*, 2020, vol. 1 (47), pp. 172–178.
8. Dorabotka konstruksii sredstv individual'noy zashchity ruk spasatelya i provedeniye ispytaniy razrabotannykh obraztsov s tsel'yu opredeleniya optimal'noy modeli [Finalization of the design of personal protective equipment for rescuer's hands and testing of the developed samples in order to determine the optimal model] / A. S. Luk'yanov, Yu. S. Shatilov, N. V. Tsedik [et al.]. *Chrezvychaynyye situatsii: preduprezhdeniye i likvidatsiya*, 2021, vol. 2 (50), pp. 171–177.
9. Kompleksnaya metodika klimaticheskikh ispytaniy sredstv individual'noy zashchity pozharnykh. Kriterii otsenki [Comprehensive methodology of climatic testing of personal protective equipment for firefighters. Evaluation criteria] / V. I. Loginov, R. A. Kislyakov, K. E. Arkhireyev [et al.]. *Aktual'nyye problemy pozharnoy bezopasnosti: materialy XXXVI Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, posvyashchennoy 375-y godovshchine obrazovaniya pozharnoy okhrany Rossii*. Moscow: Vserossiyskiy nauchno-issledovatel'skiy institut protivopozharnoy oborony MCHS RF, 2024, pp. 712–717. EDN QPYOPI.
10. Ghasemi F. et al. Investigation of the Effect of Different Firefighting Gloves on the Dexterity of Hands and Fingers. *Journal of Occupational Hygiene Engineering Volume*, 2019, vol. 6, issue 3, pp. 54–64.
11. Lanham S. The Impact of Gloves and Simulated Occupational Tasks on Handgrip Strength in Structural Firefighters. 2022.
12. The Impact of Gloves and Occupational Tasks on Handgrip Strength in Structural Firefighters. *International Journal of Exercise Science*, 2023, vol. 16, issue 4. DOI: 10.70252/xzkt3400. EDN: UJLZQM.
13. Khanlari P., Ghasemi F., Heidarimoghadam R. Protective gloves, hand grip strength, and dexterity tests: A comprehensive study. *Heliyon*, 2023, vol. 9, issue 2, pp. e13592. DOI: 10.1016/j.heliyon.2023.e13592. EDN: ZFBCQD.
14. Yang J., Yan X. Effects of firefighters' protective gloves on physiological responses, psychological responses, and manual performance in a cold environment. *Journal of Safety Science and Resilience*, 2024. DOI: 10.1016/j.jnlssr.2024.07.002. EDN INPNNV.

Гринченко Борис Борисович

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

доцент, кандидат технических наук

E-mail: grinchenko.borya@mail.ru

Grinchenko Boris 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

associate professor, candidate of technical sciences

E-mail: grinchenko.borya@mail.ru

Иванов Виталий Евгеньевич

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

доцент, кандидат технических наук, доцент

E-mail: vitaliyivanov@yandex.ru

Ivanov Vitaliy Yevgen'yevi

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

associate professor, candidate of technical sciences, associate professor

E-mail: vitaliyivanov@yandex.ru

УДК 66.069.85

АНАЛИЗ КОНСТРУКТИВНЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ И СПОСОБОВ ЗАПОЛНЕНИЯ ПЕНОБАКА ПОЖАРНОГО АВТОМОБИЛЯ

А. П. ГУБАНОВ, А. Г. БУБНОВ, А. Д. СЕМЕНОВ, И. В. САРАЕВ

Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,

Российская Федерация, г. Иваново

E-mail: Gubanoff99@ya.ru., Bubag@mai.ru, sad8_3@mail.ru, saraev-i-v@mail.ru

В статье рассматривается решение актуальной проблемы – вспенивания пенообразователя в процессе заправки пенобака пожарного автомобиля, которая существенным образом влияет на скорость проведения мероприятий по восстановлению боеготовности подразделений пожарной охраны по возвращению с места вызова. Проведён анализ известных способов заправки различных сосудов вспенивающимися составами. Разработан наиболее перспективный способ заполнения ёмкостей основных пожарных автомобилей общего применения пенообразователем. Предложен новый способ заполнения пенобака путем его модификации.

Ключевые слова: вспенивание, пенообразователь, пожарный автомобиль, пожарно-спасательное подразделение, восстановление боеготовности.

ANALYSIS OF DESIGN FEATURES AND METHODS OF FILLING THE FOAM TANK OF A FIRE TRUCK

A. P. GUBANOV, A. G. BUBNOV, A. D. SEMENOV, I. V. SARAEV

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: Gubanoff99@ya.ru., Bubag@mai.ru, sad8_3@mail.ru, saraev-i-v@mail.ru

The article deals with the solution of an urgent problem – foaming of a foaming agent in the process of refueling the foam tank of a fire truck. Which significantly affects the speed of measures to restore the combat readiness of fire protection units upon return from the place of call. The analysis of known methods of filling various vessels with foaming compounds has been carried out. The most promising method of filling the tanks of the main general-purpose fire trucks with a foaming agent has been developed. A new method of filling a foam tank by modifying it is proposed.

Keywords: foaming, foaming machine, fire truck, fire rescue unit, restoration of combat readiness.

В современном мире обеспечение состояния защищенности личности, имущества, общества и государства от пожаров является одной из ключевых задач пожарной охраны¹. С целью выполнения задач по тушению пожара, дежурный караул выезжает на пожарном автомобиле (ПА). При этом оперативность реагирования пожарно-спасательного подразделения (ПСП) во многом зависит от исправного состояния ПА и нахождения его в постоянной боеготовности, которая достигается за счет

проведения мероприятия по восстановлению боеготовности ПСП после тушения пожара². В настоящее время, на проведение данных мероприятий затрачивается большое количество времени, превышающее установленное нормативным документом значение в 2 и более раза. Авторами [1] выявлено, что одним из времязатратных мероприятий является – заправка ПА огнетушащими веществами. Это происходит из-за того, что при заправке пожарной машины огнетушащими веществами, в частности, пено-

© Губанов А. П., Бубнов А. Г., Семенов А. Д., Сараев И. В., 2025

¹ Федеральный закон от 21.12.1994 N 69-ФЗ (ред. от 08.08.2024) «О пожарной безопасности».

² Приказ МЧС России от 20 октября 2017 г. № 452 «Об утверждении Устава подразделений пожарной охраны».

образователем, до сих пор используется ведро объёмом 10 литров. В процессе заправки создаётся турбулентный поток жидкости, который приводит к вспениванию пенообразователя. Поэтому, проблема пенообразования при заправке пенообразователя остаётся актуальной.

Общеизвестно, что подразделения пожарной охраны в основном тушат пожары водой и пеной. Пена, образующаяся из водного раствора и газа в результате механического воздействия или химической реакции, эффективно тушит пожары горючих жидкостей или плавящихся твердых веществ и материалов (В)³. Это связано с тем, что воздушно-механическая пена имеет меньшую плотность по сравнению

с горючей жидкостью и может легко распространяться по поверхности последней. Таким образом, на поверхности горючей жидкости образуется плотный слой пены, который имеет хорошие изолирующие свойства. Кроме того, пена содержит большое количество воды, которая при нагревании и испарении поглощает много тепла, оказывая хороший охлаждающий эффект [1, 2].

После проведения действий по тушению пожара с использованием пены её необходимо восполнить в полном объеме. В таких случаях проводят необходимые мероприятия по восстановлению боевой готовности ПСП (рис. 1).

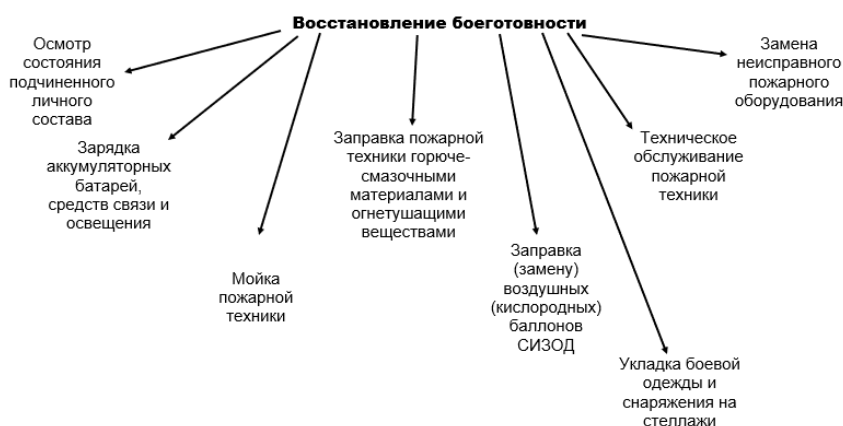


Рис. 1. Мероприятия по восстановлению боевой готовности ПСП

Известно, что существуют временные рамки для проведения мероприятий по восстановлению боевой готовности ПСП (не более 40 мин), но проведенный анализ процесса приведения ПА в готовность (рис. 1) показал, что мероприятием с наибольшими временными затратами процесса приведения ПА в готовность является заправка ПА пенообразователем. Аналогичной проблематикой занимались авторы [3]. Заправка ПА водой осуществляется при следовании в место постоянной дислокации от источников наружного противопожарного

водоснабжения⁴, однако конструктивные особенности ПА отечественного^{5, 6} и зарубежного⁷ производства, поставленных на боевое дежурство, не позволяют осуществлять заправку ёмкостей для хранения пенообразователя в полевых условиях.

Ввиду вышеизложенного, проблема вспенивания пенообразователя в процессе заполнения пенобака ПА является актуальной: она затрудняет проведение работ по восстановлению боеготовности и напрямую влияет на способность оперативно реагировать на ситуацию.

³ Федеральный закон от 22.07.2008 N 123-ФЗ (ред. от 25.12.2023) «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности».

⁴ Приказ МЧС России от 16 сентября 2024 г. № 777 «Об утверждении Боевого устава подразделений пожарной охраны, определяющего порядок организации тушения пожаров и проведения аварийно-спасательных работ».

⁵ Руководство по эксплуатации 12К4-00.00.000 РЭ Автоцистерна пожарная АЦ 7.0-40 (4320) ОАО

«УралПОЖТЕХНИКА» Открытое акционерное общество Уральский завод пожарной техники.

⁶ ПОЖАРНАЯ АВТОЦИСТЕРНА АЦ-3,2-40/4(43253) модель 001-МС Руководство по эксплуатации 001-МС-00-000-00РЭ.

⁷ Руководство по эксплуатации и техническому обслуживанию Автоцистерна пожарная АЦ 10-40 (6317Х9) ЗСПТ 1001 СООО «Завод современной пожарной техники».

Цель работы – повышение эффективности проведения мероприятий по восстановлению боеготовности ПСП путём модификации конструкции пенобака ПА и процесса его заполнения.

ПСП, дислоцирующиеся в городах, в обязательном порядке должны укомплектовываться ПА, обеспечивающими: доставку личного состава к месту вызова; тушение пожаров; подачу огнетушащих веществ, вывозимых на ПА к месту пожара⁸. Как правило – это пожарные автоцистерны лёгкого, среднего или тяжёлого класса.

Начиная с 50-х годов XX века по настоящее время, все выпускаемые ПА характеризуются совокупностью типовых конструктивных элементов, но имеют характерные отличия.

1. Пожарная надстройка – элемент ПА смонтированный на базовом шасси комплекс специализированных узлов и коммуникаций, в состав которого монтируются емкости для хранения огнетушащих веществ, системы их подачи/забора (пожарные насосы), отсеки для размещения пожарно-технического вооружения (пожарные рукава, пожарные стволы, аварийно-спасательный инструмент и т.д.) и дополнительными системами (например, освещения).

2. Базовое шасси – элемент ПА, предназначенный для размещения на нём составных частей пожарного автомобиля (пожарной надстройки и кабины боевого расчёта).

3. Кабина боевого расчёта – это единый салон с кабиной водителя, предназначенный для размещения личного состава и части пожарно-технического вооружения (ПТВ).

Так в 1953 году Прилуцкий завод противопожарного оборудования выпустил пожарную автоцистерну ПМЗ-9М [4]. Однако конструкция оказалась недостаточно проработанной, что привело к её снятию с производства через несколько лет после начала выпуска. За это время было произведено 1440 единиц данной модели.

Основные конструктивные особенности автоцистерны ПМЗ-9М скрыты от внешнего наблюдателя. К примеру, внутри цистерны с водой объёмом 1680 л располагается бак для пенообразователя на 120 л. Насосный агрегат ПА относительно нашего времени был несовершенен – низкопроизводителен. В то время не существовало чёткого представления о восстановлении боеготовности ПСП. Подразделения

пожарной охраны заправляли ПА водой из открытых водоисточников, а бак для пенообразователя с помощью обычных вёдер. В то время пенообразователь использовался крайне редко, так как был малоэффективен и его было трудно найти. В последующем выпускались модификации ПМЗ-9М, в ходе которых появились специальные пожарные автомобили узкой направленности, такие как: автомобиль рукавный (ПМР-43), автомобиль газодымозащитной службы (ПМЗ-14), аэродромный пожарный автомобиль (ПМЗ-15В), автомобиль химического пенного тушения (ПМЗ-16), автонасос (ПМЗ-18). Практически на каждый автомобиль устанавливался насос типа ПН и в зависимости от модификации ПА, производительность насоса варьировалась от 20 до 40 л/с. Помимо этого изменялся и объём ёмкостей для хранения огнетушащих веществ, но расположение их в пожарной надстройке не менялось [4].

В последующем завод-изготовитель решил кардинально изменить подход к созданию ПА и начал выпуск автомобилей на базе ЗиЛ-130 (АЦ-30, АЦ-40), которые не потеряли актуальности и в настоящее время. Изменился подход и к расположению пожарного насоса, существовали вариации его переднего, среднего и заднего расположения. Но в последующем от переднего расположения насоса отказались.

С течением времени появились различные модификации базового шасси ПА. Например, основные автомобили общего применения⁹ создавались на базе КамАЗ (43114, 43105, 4310, 53213, 5320, 53228, 53229 и т.д.), УРАЛ (43206, 5557), ЗиЛ (433362, 433114), а также на базе зарубежных автомобилей IVECO, ISUZU, Mercedes-Benz и MAN.

При этом стоит отметить, что вне зависимости от выбранного базового шасси, система водопенных коммуникаций оставалась неизменной и все ПА оснащались пенобаком [4]. Изначально, пенобаки изготавливали из коррозионностойкой стали, но такие конструкции были ненадёжными, так как в сварных швах появлялись течи. Происходило это из-за того, что пенообразователь имеет щелочную основу, которая является коррозионно-активной средой по отношению к корпусу пенобака.

С 2010 года пенобаки ПА стали производить из стеклопластика, так как они обладают рядом преимуществ перед стальными аналогами, включая отсутствие необходимости в защите от коррозии, меньший вес по сравнению с углеродистой сталью и высокие теплозащитные характеристики. Но конструктивные эле-

⁸ Приказ МЧС России от 20.12.2023 N 1307 «Об утверждении нормативов обеспеченности пожарной техникой пожарно-спасательных подразделений федеральной противопожарной службы Государст-

венной противопожарной службы, создаваемых в целях профилактики и тушения пожаров».

⁹ ГОСТ Р 53247-2009 Техника пожарная. Пожарные автомобили. Классификация, типы и обозначения.

менты и методы (способы) их заполнения не изменились.

На данный момент, на практике реализовано несколько способов заполнения пенобака ПА, принципиально отличающиеся друг от друга. Наиболее распространённый способ предполагает использование промежуточной ёмкости (обычно это ведро объёмом 10 л).

Процесс заполнения пенобаков ПА выглядит следующим образом:

- 1) пожарно-спасательная часть (ПСЧ) получает пенообразователь в ёмкостях объёмом 1 м³. Эти ёмкости хранятся в гараже ПСЧ;
- 2) при необходимости дежурный караул набирает пенообразователь из ёмкости 1 м³ с помощью ведра и переливает его в пенобак ПА.

Преимущество этого метода в том, что он не требует дополнительных затрат на приобретение специализированного оборудования. Однако у него есть и существенный недостаток – он занимает много времени. Например, чтобы заполнить ёмкость объёмом 500 л, может потребоваться более 12 часов. Это происходит ввиду того, что при переливе частицы пенообразователя соударяются со стенками пенобака, вследствие чего и происходит вспенивание пенообразователя, замедляющее процесс заполнения ёмкости – требуется время для осаждения образующейся пены. Следовательно, необходимо дожидаться, когда образовавшаяся пена осядет и продолжить процесс заполнения пенобака, пока он не будет заполнен полностью. А учитывая то, что время восстановления боеготовности ПСП не должно занимать более 40 мин – это является недостижимой задачей (при таком способе заполнения пенобака ПА).

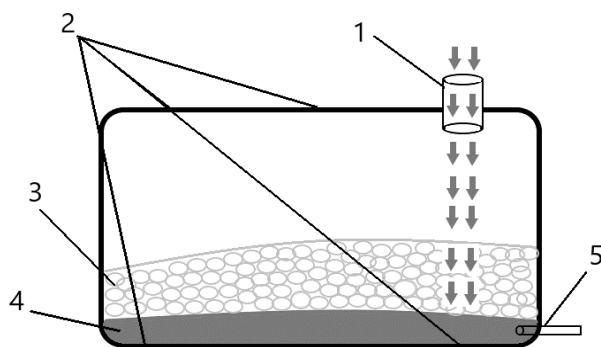


Рис. 2. Схема заправки пенобака:

- 1 – заливная горловина; 2 – корпус пенобака;
- 3 – образовавшаяся пена;
- 4 – пенообразователь;
- 5 – устройство подачи пенообразователя в ПН.

Наиболее оптимальным вариантом заправки ёмкости ПА пенообразователем является способ с использованием дополнительного насоса [7]. С целью решения данной задачи рассматривался вопрос применения вертикальных бочковых насосов (рис. 3) для перекачки химических жидкостей¹⁰.



Рис. 3. Бочковые насосы

Бочковые насосы представляют собой эффективное оборудование для транспортировки агрессивных жидкостей. Они предназначены для перекачивания кислот и щелочей. В комплектацию данных насосов входят раздаточные пистолеты с целью контроля подачи жидкости в наполняемую ёмкость. Процесс заполнения пенобака ПА с использованием данного способа включает подачу пенообразователя из ёмкости с помощью дополнительного насоса через гибкие рукава, при этом рукав должен располагаться на дне пенобака с целью создания ламинарного потока жидкости, что предотвращает дальнейшее вспенивание пенообразователя. Данный способ является наиболее оптимальным ввиду того, что для контроля заполнения пенобака необходим один человек, помимо этого, способ прост в реализации и предотвращает вспенивание пенообразователя, что снижает время восстановления боеготовности ПСП.

Некоторые современные ПА укомплектовываются дополнительными патрубками DN 50 с соединительной муфтовой головкой для заполнения пенобака с помощью стороннего насоса [7]. Главной особенностью такой системы является формирование однородного потока жидкости (пенообразователя) и предотвращение его вспенивания. Это достигается путём подачи жидкости через специальное отверстие в нижней части ёмкости. Таким образом,

¹⁰ Руководство по эксплуатации и техническому обслуживанию бочковых и контейнерных насосов DINO [Электронный ресурс]. Режим доступа: URL:

https://zenova.ru/uploads/attachment/1525/DINO_Drum_инструкция_по_эксплуатации__1_.pdf (дата обращения: 10.04.2025).

исключается возможность свободного падения пенообразующего состава.

В свою очередь самым редко встречаемым способом заполнения пенобака ПА является – заполнение самотёком [7]. В рамках данного способа применяется трубопроводная система для подачи пенообразователя в пенобак ПА. Данный способ обеспечивает полное заполнение пенобака без привлечения дополнительных ресурсов. Стоит отметить, что для реализации такого способа необходима реконструкция помещений гаражей ПСП или же возведение отдельно стоящего помещения для заправки пенобаков ПА. В таком случае, высота помещения, должна быть не менее 4 м.

Таким образом, реализация рассматриваемого способа требует значительных финансовых затрат и выделения дополнительного пространства для размещения ёмкостей с пенообразователем. Ввиду этого данный способ встречается крайне редко [7].



Рис. 4. Способ заправки пенобака самотёком

Для решения задачи вспенивания пенообразователя при заполнении пенобака ПА не рассматривается вопрос о применении антипиренов, так как изменение химического состава пенообразователей общего и специального назначения [6] может негативно сказываться на огнетушащих свойствах пены.

Помимо этого, авторами [7, 8] предлагается способ заполнения пенобака ПА и техническое решение по его реализации с использованием стационарного вакуумного насоса. Оно позволяет проводить операции по заполнению пенобака ПА в кратчайшие сроки. Но для реализации данного способа необходимо изменение конструкции водопенных коммуникаций ПА.

При этом, в процессе реализации рассматриваемого способа [7, 8] необходимо учитывать несколько параметров:

1) расчёт создаваемого разряжения, необходимого для бесперебойной заправки пенобака;

2) учёт специфики конструкций современных пенобаков;

3) оснащение пенобака дополнительным впускным клапаном для предотвращения создания излишнего разряжения.

При этом известен способ розлива пенящейся жидкости в тару с широким горлом [8]. Он используется для снижения пенообразования при контакте жидкости с внутренней поверхностью наполняемой тары. Процесс возникновения газовых пузырьков в данном случае обусловлен резким изменением состояния среды, особенно при ускорении или торможении. При резком торможении жидкости и последующем выделении газа происходит взаимодействие с твёрдой поверхностью ёмкости, интенсивность которого возрастает с увеличением скорости заполнения.

Для решения вышеуказанных задач заполнения ёмкости пенобака ПА без вспенивания пенообразователя разработана конструкция, которая представляет собой насадку цилиндрической конструкции с внутренним раскателем, выполненным в виде стержня с конусообразным расширением на выходе (рис. 5). Такая конструкция обеспечивает безударное и равномерное распределение жидкости по дну ёмкости при заполнении, тем самым минимизируя пенообразование в ёмкости.

Для реализации разработанной конструкции пенобака ПА предлагается внести изменения в стандартный пенобак ПА путём добавления во внутреннюю полость ёмкости насадки, включающей наконечник, центральную и выходную секции, а также, по крайней мере, один изгиб в вертикальной плоскости. Выходная часть насадки должна быть выполнена со срезом под углом 45° относительно продольной оси, перпендикулярно вертикальной плоскости (рис. 5). Разработанная конструкция позволяет равномерно распределять пенообразователь в ёмкости различного объёма, снижая турбулентность потока до уровня соприкосновения со стенками тары. Это минимизирует пенообразование, повышая эффективность использования пенящихся составов. При этом стоит отметить, что данный способ показал свою эффективность в других отраслях промышленности, связанных с наливом/переливом пенообразующих жидкостей.

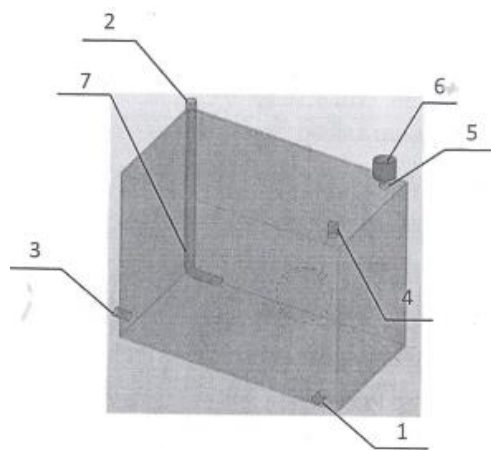


Рис. 5. Разработанная модель пенобака:

- 1 – патрубок для соединения с системой дозирования пенообразователя;
- 2 – патрубок для наполнения ёмкости пенообразователем методом перелива;
- 3 – патрубок для наполнения ёмкости пенообразователем;
- 4 – патрубок подключения к стационарному насосу автоматической вакуумной системы водозаполнения;
- 5 – вакуумный патрубок;
- 6 – впускной вакуумный клапан;
- 7 – выпускной конец трубки.

Выводы

Выявлены существующие методики заправки ёмкости ПА вспенивающимися жидкостями, их существенные недостатки, связанные с трудоемкостью и значительной продолжительностью процесса. Данные ограничения обусловлены физико-химическими характеристиками вспениваемых жидкостей, которые при контакте со стенками ёмкости инициируют интенсивный процесс пенообразования. Этот процесс существенно затрудняет эффективное заполнение ёмкостей пенообразователем, что негативно сказывается на общей производительности и оперативности заправки.

Предлагается комплексная модернизация конструкции пенобаксов пожарных автомобилей. В частности, предлагается установка

специализированной насадки, обеспечивающей подачу пенообразующего раствора в ёмкости с увеличенным диаметром горловины. Такая конфигурация минимизирует вероятность пенообразования в процессе заправки, что позволяет значительно сократить время, необходимое для заполнения ёмкостей.

Дополнительно предлагается интеграция в пенобак системы клапанов и трубопроводов, обеспечивающей возможность использования стационарного шиберного насоса. Однако реализация данной модификации сопряжена с рядом технических сложностей, требующих детального расчета прочностных характеристик стенок пенобака и разработки оптимальной схемы трубопроводов, интегрируемой с существующими водопенными коммуникациями.

Список литературы

1. Актуальные проблемы устройства пожарных автомобилей, влияющие на восстановление боеготовности подразделения пожарной охраны / А. П. Губанов, А. Д. Семенов, А. Н. Бочкарев [и др.] // Надежность и долговечность машин и механизмов: сборник материалов XV Всероссийской научно-практической конференции. Иваново: Ивановская пожарно-спасательная академия Государственной противопожарной службы МЧС РФ, 2024. С. 56–60. EDN: NFLHCE.

2. Study on fire extinguishing performance of different foam extinguishing agents in diesel pool fire / Mengwei Lou, Hongyu Jia, Zhun Lin [et al.]. Results in Engineering, 2023, vol. 17. DOI: 10.1016/j.rineng.2023.100874

3. Fire-extinguishing performance and mechanism of aqueous film-forming foam in diesel pool fire / Zhisheng Xu, Xing Guo, Long Yan [et al.].

Case Studies in Thermal Engineering, 2020, vol. 17. DOI: 10.1016/j.csite.2019.100578

4. Сараев И. В., Семенов А. Д., Бочкарев А. Н. Восстановление боеготовности мобильных средств пожаротушения в условиях низких температур // Современные проблемы гражданской защиты. 2023. № 3 (48). С. 124–133. EDN: FZZUCW

5. Малыхин А. В. История развития пожарной техники // Вестник Восточно-Сибирского института МВД России. 2010. № 3 (54). С. 65–77. EDN: UHGWWH

6. Губанов А. П., Борисов А. О., Цугунов В. Д. Пенообразователи, применяемые в подразделениях пожарной охраны // Современные пожаробезопасные материалы и технологии: сборник материалов VII международной научно-практической конференции. Иваново: Ивановская пожарно-спасательная академия Государственной противопожарной службы МЧС РФ, 2024. С. 94–99. EDN: MJIRVA

7. Семенов А. Д., Боцкарев 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. EDN: XHIROK

8. Патент на полезную модель 192239 U1 Российская Федерация МПК В 67 D 1/08. Насадка на кран для розлива газированной и/или пенящейся жидкости / И. Ф. Провоторов; опубл. 09.09.2019. Бюл. № 25

References

1. Aktual'nyye problemy ustroystva pozhar'nykh avtomobiley, vliyayushchiye na voss-tanovleniye boyegotovnosti podrazdeleniya pozhar'noy okhrany [Current problems of fire trucks design that affect the restoration of combat readiness of the fire department] / A. P. Gubanov, A. D. Semenov, A. N. Bochkarev [et al.]. *Nadezhnost' i dolgovechnost' mashin i mekhanizmov: sbornik materialov XV Vserossiyskoy nauchno-praktich-eskoy konferentsii*. Ivanovo: Ivanovskaya pozhar'no-spasatel'naya akademiya Gosudar-stvennoy protivopozhar'noy sluzhby MCHS RF, 2024, pp. 56–60. EDN: NFLHCE.

2. Study on fire extinguishing performance of different foam extinguishing agents in diesel pool fire / Mengwei Lou, Hongyu Jia, Zhun Lin [et al.]. *Results in Engineering*, 2023, vol. 17. DOI: 10.1016/j.rineng.2023.100874

3. Fire-extinguishing performance and mechanism of aqueous film-forming foam in diesel pool fire / Zhisheng Xu, Xing Guo, Long Yan [et al.]. *Case Studies in Thermal Engineering*, 2020, vol. 17. DOI: 10.1016/j.csite.2019.100578

4. Saraev I. V., Semenov A. D., Bochkarev A. N. Vosstanovleniye boyegotovnosti mobil'nykh sredstv pozharotusheniya v usloviyakh nizkikh temperatur [Restoration of combat readiness of mobile fire extinguishing equipment at low temperatures]. *Sovremennyye problemy grazhdanskoy zashchity*, 2023, vol. 3 (48), pp. 124–133. EDN: FZZUCW

5. Malykhin A. V. Istoriya razvitiya pozhar'noy tekhniki [History of the development of fire fighting equipment]. *Vestnik Vostochno-Sibirskogo instituta MVD Rossii*, 2010, vol. 3 (54), pp. 65–77. EDN: UHGWWH

6. Gubanov A. P., Borisov A. O., Tsugunov V. D. Penobrazovateli, primenyayemye v podrazdeleniyakh pozhar'noy okhrany [Foaming agents used in fire departments]. *Sovremennyye pozharobezopasnyye materialy i tekhnologii: sbornik materialov VII mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii*. Ivanovo: Ivanovskaya pozhar'no-spasatel'naya akademiya Gosudar-stvennoy protivopozhar'noy sluzhby MCHS RF, 2024, pp. 94–99. EDN: MJIRVA

7. Semenov A. D., Bochkarev A. N., Knutov M. S. Vliyaniye sposoba zapravki penobaka na vremya privedeniya pozhar'nogo avtomobilya v gotovnost' posle pozhara [The influence of the method of filling the foam tank on the time it takes to bring a fire engine into readiness after a fire]. *Sovremennyye problemy grazhdanskoy zashchity*, 2020, vol. 4 (37), pp. 143–149. EDN: XHIROK

8. Provotorov I. F. Nasadka na kran dlya rozliva gazirovannoy i/ili penyashcheysya zhidkosti [Nozzle for tap for filling carbonated and/or foaming liquid], Patent na poleznuyu model' 192239 U1 Rossiyskaya Federatsiya IPC B 67 D 1/08, opubl. 09.09.2019, Byul. № 25

Губанов Антон Павлович

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

адъюнкт очной формы обучения адъюнктуры

E-mail: Gubanoff99@ya.ru

Gubanov Anton Pavlovich

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: Gubanoff99@ya.ru

Бубнов Андрей Германович

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

доктор химических наук, доцент

E-mail: bubag@mail.ru

Bubnov Andrey Germanovitch

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
E-mail: bubag@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.

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

УДК 614.841.41

ТЕРМИЧЕСКАЯ СТАБИЛЬНОСТЬ И ОГНЕСТОЙКОСТЬ ВОЛОКНИСТЫХ МАТЕРИАЛОВ: НАУЧНЫЙ АНАЛИЗ ОТЕЧЕСТВЕННОГО И ЗАРУБЕЖНОГО ОПЫТА ИССЛЕДОВАНИЙ

А. Н. КЛУШИН, О. Г. ЦИРКИНА, В. Г. СПИРИДОНОВА, И. В. ПЕСТОВ

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

E-mail: gpn-obninsk@mail.ru, ogtsirkina@mail.ru, nika.spiridonowa@yandex.ru, pestov.ig@yandex.ru

В статье представлен научный анализ отечественного и зарубежного опыта исследований в области пожарной опасности текстиля. Отмечено, что в нашей стране и за рубежом исследователи придерживаются практически одинакового подхода к изучению пожарной опасности текстильных материалов. Рассмотрены особенности состава и структуры текстильных полотен, а также факторы, влияющие на термическую стабильность и огнестойкость тканей из различных видов волокон. Отмечена взаимосвязь скорости тепловыделения из различных волокнистых материалов с их способностью к воспламенению. Анализ литературных данных показал, что между основными показателями, характеризующими пожарную опасность текстильных материалов, имеется высокая степень корреляции внутри групп тканей одинаковой природы и химического состава.

Ключевые слова: текстиль, волокнистые материалы, пожарная опасность, горючесть, термическая стабильность, огнестойкость

THERMAL STABILITY AND FIRE RESISTANCE OF FIBROUS MATERIALS: SCIENTIFIC ANALYSIS OF DOMESTIC AND FOREIGN RESEARCH EXPERIENCE

A. N. KLUSHIN, O. G. TSIRKINA, V. G. SPIRIDONOVA, I. V. PESTOV

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: gpn-obninsk@mail.ru, ogtsirkina@mail.ru, nika.spiridonowa@yandex.ru, pestov.ig@yandex.ru

The article presents a scientific analysis of domestic and foreign research experience in the field of textile fire hazard. It is noted that in our country and abroad, researchers adhere to almost the same approach to studying the fire hazard of textile materials. The features of the composition and structure of textile fabrics, as well as factors affecting the thermal stability and fire resistance of fabrics made of various types of fibers, are considered. The relationship between the rate of heat release from various fibrous materials and their ability to ignite is noted. An analysis of the literature data has shown that there is a high degree of correlation between the main indicators characterizing the fire hazard of textile materials within groups of fabrics of the same nature and chemical composition.

Keywords: textiles, fibrous materials, fire hazard, flammability, thermal stability, fire resistance

Текстильные материалы (ТМ), выработанные из различных видов волокон и их смесей, широко применяются во всех сферах жизнедеятельности человека, начиная от тканей бытового назначения и заканчивая высокотехнологичными защитными материалами, используемыми в промышленности. Наряду с многочисленными достоинствами, большинство ТМ горючи и, следовательно, обладают повышенной пожарной опасностью. Поэтому разработка огнезащитных составов и выпуск термически стабильных текстильных материалов и

изделий, обладающих пониженной горючестью, являются актуальными в масштабах нашей страны и во всем мире, а обеспечение пожарной безопасности представляет важную государственную задачу [1].

На мировом рынке значительно возросла доля огнестойких тканей, предназначенных для пошива изделий бытового, специального технического назначения [2]. Необходимо отметить, что на смену традиционному текстилю пришли новые инновационные материалы, в первую очередь, ТМ на основе

aramидных волокон, стоимость которых и сейчас остается высокой. Поэтому исследования, имеющие цель создать пожаробезопасные ТМ, продолжают продвигаться в направлении разработки композиций на основе известных антипиренов или способов модификации волокнообразующих полимеров для снижения их горючести.

Целью данного этапа работы является обобщение и систематизация результатов исследований термической стабильности и огнестойкости текстильных материалов различного состава, полученных отечественными и зарубежными учеными, по таким показателям как воспламеняемость, скорость распространения пламени, теплофизические свойства, термические характеристики.

Анализируя нормативные и правовые акты Российской Федерации в области обеспечения пожарной безопасности объектов защиты, необходимо отметить, в частности, что статья 13 Классификация строительных, текстильных и кожевенных материалов по пожарной опасности Федерального закона от 22.07.2008 № 123-ФЗ (ред. от 25.12.2023) «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности»¹ регламентирует перечень основных показателей пожарной опасности текстиля к числу которых относятся: горючесть; воспламеняемость; способность распространения пламени по поверхности; дымообразующая способность; токсичность продуктов горения. В приведенном документе, в частности, указано, что ТМ классифицируются на легковоспламеняемые (ЛВ) и трудновоспламеняемые (ТВ); а по распространению пламени подразделяются на 3 группы: не распространяющие пламя по поверхности; медленно распространяющие пламя по поверхности; быстро распространяющие пламя по поверхности. Таким образом, нормируемые показатели пожарной опасности текстильных материалов уже обозначены в указанном Федеральном законе.

Переходя к научному анализу отечественного и зарубежного опыта исследований в области пожарной опасности текстильных материалов, отметим, что в настоящее время данному вопросу уделяется значительное внимание и в России, и за ее пределами.

Из отечественных исследователей весомый вклад в развитие указанного направления внесли Перепелкин К. Е., Бесшапошникова В. И., Константинова Н. И., Морыганов А. П., Коломейцева Э. А., Болодьян Г. И., а также авторские коллективы, проводящие

исследования в Ивановском государственном химико-технологическом университете, Ивановской пожарно-спасательной академии ГПС МЧС России, Российском государственном университете им. А.Н. Косыгина.

Следует отметить, что и в нашей стране, и за рубежом исследователи придерживаются практически одинакового подхода к изучению пожарной опасности ТМ. Так, в совместной работе А.Р. Хоррокса и С. Назаре, посвященной исследованию воспламеняемости тканей, выделяются следующие основные показатели пожарной опасности текстильных материалов: легкость воспламенения; скорость распространения пламени; механизм теплопередачи; скорость тепловыделения; общее количество выделяемого тепла. В качестве параметров текстильного материала, влияющих на его пожароопасные свойства, авторы выделяют: химический состав волокон; взаимодействие различных типов волокон для смесовых и композитных тканей; особенности структуры ткани (наличие тканой структуры и тип переплетения); плотность и толщину полотна; ориентацию ткани в пространстве (горизонтальная, вертикальная, под углом); расположение точки воспламенения (сверху, снизу, с краю и т.д.) [3].

Группа ученых из Индии и Таиланда (Л. Раджешкумар, П. Сатиш Кумар, Павине Буньясопон и др.) разделили факторы, влияющие на термическую стабильность и огнестойкость полимерных композитов из натуральных волокон на растительной основе, на три группы: полимерная матрица, натуральное волокно и другие (рис. 1) [4].

Параметры пряжи также могут оказывать влияние на пожарную опасность готового материала. Пряжа с нулевой круткой обеспечивает более высокие значения скорости горения, тогда как пряжа с круткой от 0 до 1,37 витков на см снижает массовую скорость горения до 40 % [5]. Изучение влияния плотности и веса ткани на скорость теплопередачи показало, что для хлопка теплоотдача обратно пропорциональна весу ткани, тогда как для 100 % полиэстера скорость теплоотдачи изменяется в том же направлении, что и вес ткани, однако степень зависимости от веса меньше [6].

Скорость распространения пламени по поверхности образца текстильного материала зависит как от состава ткани и поверхностной плотности, так и от угла наклона. В табл. 1 представлены средние скорости распространения пламени для тканей под разными углами наклона [3].

¹ Федеральный закон от 22.07.2008 № 123-ФЗ (ред. от 25.12.2023) «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности»



Рис. 1. Факторы, влияющие на термическую стабильность и огнестойкость композитов из натуральных волокон

Таблица 1. Скорость распространения пламени для тканей под разными углами наклона [3]

Ткань	Скорость распространения пламени, мм/с					
	Угол наклона					
	90 °	60 °	45 °	30 °	15 °	0 °
Легкий хлопок (до 200 г/м ²)	57	40	37	30	18	6
Плотный хлопок (свыше 200 г/м ²)	27	19	18	14	10	3
Полиэстер / хлопок (65: 35)	37	27	24	21	13	9
Полиэстер*	-	-	-	-	-	-
Легкий шелк ¹	-	-	-	-	-	-
Плотный шелк	-	-	-	-	-	-
Шерсть ²	23	14	12	10	8	-

* Ткань не воспламенилась.
¹ Пламя погасло после удаления источника зажигания.
² Пламя гаснет при удалении источника зажигания при горизонтальном расположении образцов.

Среди натуральных целлюлозных волокон, помимо хлопка, для пошива изделий декоративного и технического назначения широко используется лен. Группой ученых из Новой Зеландии, Великобритании и Нидерландов (Нам Кён Ким, Нинтао Мао, Марк С. М. ван Лоосдрехт и др.) проведены исследования огнезащитного льна в сравнении с необработанной льняной тканью саржевого переплетения с поверхностной плотностью 145 г/м². Для исследования характеристик горения текстильного материала было проведено испытание на вертикальное горение Бунзена в соответствии с Федеральными авиационными правилами США (FAR) 25.853 для интерьера воздушных судов². Проведенный тест показал, что через 5 секунд образец необработанного льна воспламенился от пламени горелки и распространил пламя по всей поверхности образца. После поджигания образца в течение 12 секунд пламя горелки было убрано, при этом образец льна продолжил

непрерывное пламенное горение до полного сгорания материала. Для оценки термической стабильности проведен термогравиметрический анализ. Установлено, что начальная потеря веса (приблизительно на 7 %) регистрируется при температуре 100–150 °С и связана с испарением влаги. Дальнейшее снижение веса при 250 °С соответствует температуре термического разложения целлюлозы. Кроме того, на термогравиметрической кривой выделяется дополнительный этап разложения льна при температуре 385 °С, что может быть вызвано разрушением глюкозидной связи в макромолекулах целлюлозы. Полное разложение соответствует 670 °С, при этом остатка не образуется [7].

Центр перспективных композиционных материалов (Новая Зеландия) совместно с Центром аэрокосмических исследований сэра Лоуренса Уэкетта (Австралия) в рамках проведения комплексного экспериментального и

² US Federal Aviation Regulation (FAR)

численного анализа для сравнения огнестойкости полипропиленовых композитов на основе шерсти и льна установили, что тип волокна оказывает значительное влияние на характеристики при горизонтальных и вертикальных испытаниях. Для исследования полипропиленовых композитов оценивались теплофизические свойства шерсти и льна, представленные в табл. 2 [8].

Растительные волокна, в частности лен, наиболее часто используются для производства композитов из натуральных волокон и полимеров. Такие волокна состоят из целлюлозы, гемицеллюлозы, лигнина и других компонентов, которые легко воспламеняются. Гемицеллюлоза, вследствие более низкой молекулярной массы, чем целлюлоза, является наименее термостойкой и начинает разлагаться при температуре 200 °С. Процесс разложения целлюлозы происходит при 350 °С. Лигнин, являясь сложным природным полимерным соединением,

разлагается в широком диапазоне температур от 200 до 600 °С. Было обнаружено, что при термическом разложении целлюлозы протекают две параллельные реакции: деполимеризация и дегидратация. Деполимеризация приводит к образованию левоглюкозана – продукта термической деструкции целлюлозы (одного из оптических изомеров глюкозана), который способствует выделению большого количества легко воспламеняющихся летучих веществ и меньшему обугливанию, чем при дегидратации. Отмечено, что большинство натуральных волокон подвергаются 60 %-ному термическому разложению при температуре 215–310 °С с энергией активации 160–170 кДж/моль [9].

Таким образом, пожарная опасность различных текстильных волокон зависит от их химического состава и структуры. В табл. 3 приведены показатели пожарной опасности некоторых натуральных волокон.

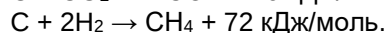
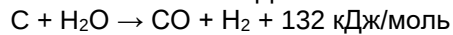
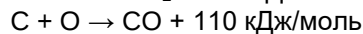
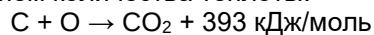
Таблица 2. Теплофизические свойства льняных и шерстяных волокон [8]

Свойство	Единица измерения	Шерсть	Лён	Обугленный остаток (шерсть)	Обугленный остаток (лён)
Плотность	кг/м ³	1390	1400	523,4	550
Излучательная способность	-	0,85	0,85	0,95	0,93
Удельная теплоемкость	кДж / кг·К	2,38	1,60	2,3	2,0
Теплопроводность	Вт / м·К	0,047	0,30	0,1	0,13-0,225
Теплота сгорания	кДж / кг	2,1×10 ⁴	1,1×10 ⁴	2,2×10 ⁴	2,4×10 ⁴
Теплота реакции термолиза	кДж / кг	1390	1411	-	-
Энергия активации реакции термоокисления	Дж / моль	-	1,15×10 ⁵	1,15×10 ⁵	1,23×10 ⁵
Остаток	кг / кг	0,24	0,05	0,02	-

Таблица 3. Показатели пожарной опасности различных натуральных волокон [10]

Волокно	Кислородный индекс, %	Теплота сгорания, кДж/моль	Температура воспламенения, °С	Температура самовоспламенения, °С	Дымообразование		Газы, образующиеся при горении
					Снижение видимости, м	Оптическая плотность, %	
хлопок	18,4	16,3	255	400	4	0,02	CO ₂ , CO, H ₂ O
лен	17,4	15,9	256	390	4	0,02	CO ₂ , CO, H ₂ O
шерсть	25,2	20,5	242	570 - 600	18	0,09	CO ₂ , CO, HCN, NO ₂ , H ₂ O

Отмечено, что в лигноцеллюлозных волокнах наиболее пожароопасным элементом является углерод. Ниже представлены возможные реакции сгорания источников углерода с указанием количества теплоты:



Текстильные материалы из целлюлозных волокон обладают низкой огнестойкостью и легко воспламеняются, поскольку состоят из углерода, водорода и кислорода, поддерживающего горение. В работе [10] для исследования скорости выделения тепла из разных текстильных материалов, в том числе хлопка, льна и шелка, использован конусный калориметр. С помощью данного прибора определено, что значение максимальной скорости тепловыделения (PHRR) зависит от времени достижения

пика (TTI). Эти показатели, в свою очередь связаны с воспламеняемостью образца. Эти два параметра – PHRR и TTI – могут быть объединены в один индекс FIGRA (Индекс темпа роста пожара), который представляет собой соотношение PHRR к времени, за которое PHRR достигается, и может быть использован для ранжирования текстильных материалов по пожарной опасности. Чем выше значение индекса FIGRA, тем выше пожарная опасность, что предполагает высокую максимальную скорость тепловыделения при очень малом времени воспламенения. Таким образом, показание индекса FIGRA в действительности отражает скорость нагрева материала. В табл. 4 приведены результаты калориметрии как для натуральных, так и искусственных волокон. Величина индекса FIGRA рассчитана при тепловом потоке 35 кВт/м². Оценка «0» соответствует наиболее безопасному текстильному материалу, оценка «6» – самой пожароопасной ткани [10].

Таблица 4. Ранжирование образцов текстильных материалов по пожарной опасности на основании результатов калориметрии [10]

Волокно	Время достижения максимума, с TTI	Максимальная скорость тепловыделения, кВт/м ² PHRR	Общее тепловыделение, МДж/м ² THR	Индекс темпа роста пожара, (кВт/м ²)/с FIGRA	Оценка пожарной опасности на основании FIGRA
Легкий хлопок	9	94	1,0	9,40	3
Плотный хлопок	14	128	3,2	9,10	2
Полиэстер / хлопок	10	157	1,9	15,4	5
Акриловое волокно	17	292	4,5	16,2	6
Легкий шелк	-	-	-	-	0
Плотный шелк	28	45	1,0	1,5	1
Шерсть	16	171	2,9	10,6	4

В работах отечественных авторов пожарная опасность текстильных материалов также в большей степени рассматривается в контексте выбора огнезащитной обработки (состава и способа нанесения).

Сухое хлопковое волокно начинает терять прочность при температуре более 150 °С. Целлюлоза выдерживает кратковременный нагрев до 200 °С. Длительное нагревание при температуре 100 °С вызывает необратимые структурные изменения, вследствие которых теряется прочность волокна, снижается его способность к набуханию и окрашиванию. Волокна сначала приобретают легкую желтизну, затем буреют и обугливаются при температуре 250 °С, когда наступает пиролитическое

разложение целлюлозы. При температуре выше 400° С происходит самовозгорание хлопка [11].

Льняное волокно при нагревании способно выдерживать более высокие температуры, чем хлопок, так как имеет большую гигроскопичность [12] (в нормальных атмосферных условиях при температуре 20 °С и относительной влажности воздуха 65 % хлопковое волокно содержит 6–8 % влаги, льняное – до 12 % [13]). Шерсть также относится к натуральным волокнам. При огневом воздействии ее волокна спекаются, но в отсутствии пламени горение не поддерживается [12].

Ткани из хлопчатобумажных волокон легко воспламеняются от источников зажигания, имеют значения кислородного индекса меньше 21 % (ткань «саржа» с поверхностной плотностью 250 г/м² – 17,5 %; вафельное полотно с поверхностной плотностью 200 г/м² – 17,2 %; ткань «бязь» с поверхностной плотностью 146 г/м² – 17,2 %). Испытания на воспламеняемость показали, что все перечисленные образцы воспламеняются без особых затруднений и поддерживают самостоятельное горение после удаления источника зажигания. Характер полученных термогравиметрических зависимостей указывает на то, что до температуры 250 °С целлюлоза не претерпевает существенных изменений. В интервале температур 280–350 °С процесс термодеструкции идет с высокой скоростью. Максимальная скорость термодеструкции для хлопковой ткани имеет место при 330 °С [14].

Процесс разложения льняного волокна также начинается с 250 °С, при этом температура окончания термодеструкции льняного волокна (375 °С) выше, чем для хлопкового волокна (350 °С). Максимальная скорость термодеструкции для льна достигается при температуре 355 °С. Термодеструкция хлопка происходит быстрее и заканчивается при меньшей температуре, хлопковый образец теряет больший

процент массы. Общий процент потери массы для хлопкового волокна составил 76,4 %, для льняного волокна – 75,5 % [15]. Минимальные значения на кривых теплового потока при температурах 280–360 °С для обоих волокон свидетельствуют о том, что наряду с деполимеризацией происходят химические изменения элементарных звеньев макромолекул целлюлозы и сопутствующих примесей [16].

Помимо химического состава волокон и поверхностной плотности текстильного материала рассматривалось влияние вида отделки на пожароопасные свойства. Проведенные исследования для ткани «бязь» одного состава (100 % хлопок) и поверхностной плотности (140 г/м²), но разных видов отделки (суровая, отбеленная, напечатанная, гладкокрашеная) показали, что кривые потери массы для гладкокрашеной, напечатанной и отбеленной «бязи» имеют перегибы в одном температурном диапазоне (263–376 °С) и частично накладываются друг на друга. Процент потери массы гладкокрашеной «бязи» составил 76,08 %; напечатанной – 77,88 %; отбеленной – 77,96 %. Суровая «бязь» сохранила наибольший процент от первоначальной массы – 32,61 %, что связано с наличием органических природных примесей, которые также разлагаются до угольного остатка (рис. 2).

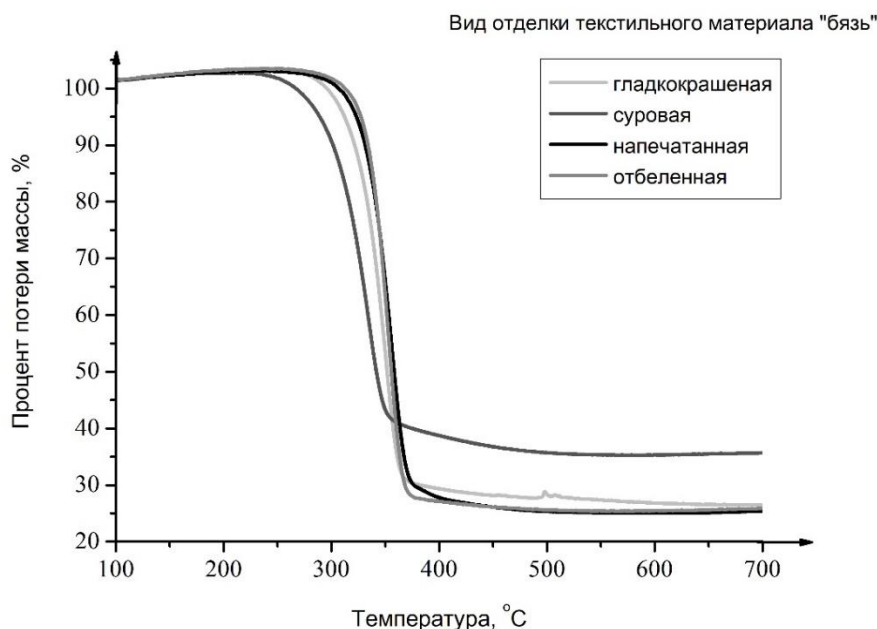


Рис. 2. Термогравиметрические кривые для ткани «бязь» с различными видами отделки

Наибольшая скорость термического разложения для суровой «бязи» наблюдается при температуре 334 °С, что соответствует данным о том, что процесс разложения начинается и заканчивается для данного материала раньше. Кривая теплового потока для отбеленной, гладкокрашеной и напечатанной «бязи» имеет два ярко выраженных пика, характеризующих реакции, идущие с поглощением тепла в инертной среде. Появление первого пика в диапазоне температур 350–370 °С можно объяснить «плавлением» кристаллических структур целлюлозы. При температурах порядка 600 °С характер кривых теплового потока для всех испытываемых образцов одинаков и соответствует полной термической деструкции целлюлозы [17].

Развитие современных технологий в области текстильной промышленности позволяет применять инновационные инструменты исследования свойств тканей и волокон. Одним из таких инструментов является достижение в области искусственного интеллекта ChatGPT. Исследование ученых из Китая (Ицинь Сюй, Чао Чжи, Хао Го и др.) в рамках работы «ChatGPT for textile science and materials: A perspective» («ChatGPT для текстильной науки и материалов: перспектива») позволили сделать вывод о том, что ChatGPT предоставляет надежную платформу для эффективной обработки и анализа экспериментальных данных, обеспечивая более точную корреляцию между свойствами материалов и их внутренней структурой. Это методологическое достижение означает кардинальный сдвиг в анализе данных в материаловедении. ChatGPT имеет потенциал в обработке и анализе данных, текстильном дизайне,

обнаружении дефектов тканей и моделировании материалов [18].

Вывод

Проведенный аналитический обзор имеющихся в открытом доступе научных публикаций отечественных и зарубежных исследователей показал, что изучению вопроса термической стабильности и огнезащиты ТМ и разработке способов снижения их горючести придается большое значение. Тщательно изучаются пожароопасные свойства текстиля и разрабатываются способы снижения его горючести. С научной точки зрения необходимо отметить, что между основными показателями, характеризующими пожарную опасность ТМ – значениями кислородного индекса текстильных материалов, результатами испытаний на воспламеняемость и числовыми значениями величин, полученных при проведении термического анализа – имеется высокая степень корреляции внутри групп тканей одинаковой природы и химического состава [19].

Работа выполнена в рамках государственного задания на НИР «Разработка базы данных «Пожарная опасность текстильных материалов» в целях судебной пожарно-технической экспертизы» (НИР «Текстиль») (подпункт 9.1 пункта 9 раздела I Плана научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ в области гражданской обороны, предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций, обеспечения пожарной безопасности, преодоления последствий радиационных аварий и катастроф на 2025 год и плановый период 2026 и 2027 годов, утвержденного приказом МЧС России от 17.07.2024 г. № 592).

Список литературы

1. Малых А. Р. Ассортимент современных огнестойких текстильных материалов // «Концепт». Научно-методический электронный журнал. 2016. Т. 3. С. 116–120. URL: <http://e-koncept.ru/2016/56035.htm>.
2. Самохвалов Е. Вопросы огнезащиты текстильных материалов // F+S: технологии безопасности и противопожарной защиты. 2011. № 4 (52). С. 28–31.
3. Nazaré S., Horrocks A. R. Flammability testing of fabrics. Editor(s): Jinlian Hu, In Woodhead Publishing Series in Textiles, Fabric Testing, Woodhead Publishing, 2008, pp. 339–388.
4. Flame retardance behaviour and degradation of plant-based natural fiber composites – A comprehensive review / L. Rajeshkumar, P. S. Kumar, P. Boonyasopon [et al.]. Construction and Building Materials, 2024, vol. 432, 136552, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2024.136552>

5. Miller B., Goswami B. C. Effects of constructional factors on the burning rates of textile structures: Part I: Woven thermoplastic fabrics. Textile Research Journal, 1971, vol. 41, p. 949.
6. Webster C. T., Wraight H. G. H., Thomas P. H. Heat-Transfer from Burning Fabrics. Journal of the Textile Institute Transactions, 1962, vol. 53, no. 1, pp. 29–37.
7. Flame retardant property of flax fabrics coated by extracellular polymeric substances recovered from both activated sludge and aerobic granular sludge / N. K. Kim, N. Mao, R. Lin [et al.]. Water Research, 2020, vol. 170, 115344, <https://doi.org/10.1016/j.watres.2019.115344>.
8. Effects of sample orientation on the fire reaction properties of natural fibre composites / S. Dutta, N. K. Kim, R. Das [et al.]. Composites Part B: Engineering, 2019, vol. 157, pp. 195–206.
9. Flame retardancy and fire mechanical properties for natural fiber/polymer composite: A

review / Ao X., Vázquez-López A., Mocerino D., [et al.]. *Composites Part B: Engineering*, 2024, vol. 268, 111069, <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2023.111069>.

10. Kozłowski R. M., Muzyczek M. Improving the flame retardancy of natural fibres. *The Textile Institute Book Series, Handbook of Natural Fibres (Second Edition)*, Woodhead Publishing, 2020, pp. 355–391.

11. Отделка хлопчатобумажных тканей: справочник / под ред. Б. Н. Мельникова. Иваново: изд-во «Талка», 2003. 484 с.

12. Шульгина Н. Г., Бабкина Н. А. Материаловедение в производстве швейных изделий: сборник учебно-методических материалов для направления подготовки 29.03.05. Благовещенск: Амурский гос. ун-т, 2017. 128 с.

13. Мельников Б. Н., Виноградова Г. И. Применение красителей: учебник для вузов. М.: Химия, 1986. 240 с.

14. 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). С. 80–85.

15. Оценка пожароопасных свойств текстильных материалов на основе растительных волокон / В. Г. Спиридонова, О. Г. Циркина, А. Л. Никифоров [и др.] // *Пожарная и аварийная безопасность: сборник материалов XV Международной научно-практической конференции, посвященной 30-й годовщине МЧС России*. Иваново: ФГБОУ ВО Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, 2020. С. 128–132.

16. Оценка пожароопасных свойств текстильных материалов из природных целлюлозных волокон / О. Г. Циркина, Л. В. Шарнина, А. Л. Никифоров [и др.] // *Современные проблемы гражданской защиты*. 2019. № 3 (32). С. 81–88.

17. Спиридонова В. Г., Циркина О. Г., Шабунин С. А. Влияние вида отделки на пожароопасные свойства текстильных материалов из хлопковых волокон // *Актуальные вопросы совершенствования инженерных систем обеспечения пожарной безопасности объектов: материалы IX Всероссийской научно-практической конференции, посвященной 90-летию образования гражданской обороны*. Иваново: Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, 2022. С. 400–404.

18. ChatGPT for textile science and materials: A perspective / Y. Xu, C. Zhi, H. Guo [et al.]. *Materials Today Communications*, 2023, vol. 37, 107101, <https://doi.org/10.1016/j.mtcomm.2023.107101>.

19. Анализ методов испытаний по определению классификационных показателей пожарной опасности текстильных материалов и

проблемные вопросы их применения / В. Г. Спиридонова, О. Г. Циркина, А. Х. Салихова [и др.] // *Современные проблемы гражданской защиты*. 2025. № 1 (54). С. 109–123.

References

1. Malyh A. R. Assortiment sovremennyh ognestojkih tekstil'nyh materialov [Range of modern flame-resistant textile materials]. *«Koncept». Nauchno-metodicheskij elektronnyj zhurnal*, 2016, vol. 3, pp. 116–120. URL: <http://e-koncept.ru/2016/56035.htm>.

2. Samohvalov E. Voprosy ognезashchity tekstil'nyh materialov [Issues of fire protection of textile materials]. *F+S: tekhnologii bezopasnosti i protivopozharnoj zashchity*, 2011, vol. 4 (52), pp. 28–31.

3. Nazaré S., Horrocks A. R. Flammability testing of fabrics. Editor(s): Jinlian Hu, In *Woodhead Publishing Series in Textiles, Fabric Testing*, Woodhead Publishing, 2008, pp. 339–388.

4. Flame retardance behaviour and degradation of plant-based natural fiber composites – A comprehensive review / L. Rajeshkumar, P. S. Kumar, P. Boonyasopon [et al.]. *Construction and Building Materials*, 2024, vol. 432, 136552, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2024.136552>.

5. Miller B., Goswami B. C. Effects of constructional factors on the burning rates of textile structures: Part I: Woven thermoplastic fabrics. *Textile Research Journal*, 1971, vol. 41, p. 949.

6. Webster C. T., Wraight H. G. H., Thomas P. H. Heat-Transfer from Burning Fabrics. *Journal of the Textile Institute Transactions*, 1962, vol. 53, no. 1, pp. 29–37.

7. Flame retardant property of flax fabrics coated by extracellular polymeric substances recovered from both activated sludge and aerobic granular sludge / N. K. Kim, N. Mao, R. Lin [et al.]. *Water Research*, 2020, vol. 170, 115344, <https://doi.org/10.1016/j.watres.2019.115344>.

8. Effects of sample orientation on the fire reaction properties of natural fibre composites / S. Dutta, N. K. Kim, R. Das [et al.]. *Composites Part B: Engineering*, 2019, vol. 157, pp. 195–206.

9. Flame retardancy and fire mechanical properties for natural fiber/polymer composite: A review / Ao X., Vázquez-López A., Mocerino D., [et al.]. *Composites Part B: Engineering*, 2024, vol. 268, 111069, <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2023.111069>.

10. Kozłowski R. M., Muzyczek M. Improving the flame retardancy of natural fibres. *The Textile Institute Book Series, Handbook of Natural Fibres (Second Edition)*, Woodhead Publishing, 2020, pp. 355–391.

11. *Otdelka hlopchatobumazhnyh tkanej: spravochnik* [Finishing of cotton fabrics: a reference book] / pod red. B. N. Mel'nikova. Ivanovo:

izd-vo «Talka», 2003. 484 p.

12. Shul'gina N. G., Babkina N. A. *Materi-
alovedenie v proizvodstve shvejnyh izdelij: sbornik
uchebno-metodicheskikh materialov dlya naprav-
leniya podgotovki 29.03.05* [Materials science in
the manufacture of sewing products: a collection of
educational and methodological materials for the
training area 29.03.05]. Blagoveshchensk: Amur-
skij gos. un-t, 2017. 128 p.

13. Mel'nikov B. N., Vinogradova G. I. *Primenenie krasitelej: ucheb. dlya vuzov* [The use
of dyes: a textbook for universities]. M.: Himiya,
1986. 240 p.

14. Storonkina O. E., Mochalova T. A., Kal-
ashnikov D. V. Issledovanie pokazatelej pozhar-
noy opasnosti tekstil'nyh materialov v celyah sudebnoy
pozharo-tekhnicheskoy ekspertizy [Investigation
of fire hazard indicators of textile materials for the
purposes of forensic fire-technical expertise]. *Sov-
remennye naukoemkie tekhnologii. Regional'noe
prilozhenie*, 2021, vol. 4 (68), pp. 80–85.

15. Ocenka pozharoopasnyh svoystv
tekstil'nyh materialov na osnove rastitel'nyh vol-
kon [Assessment of fire-hazardous properties of
textile materials based on vegetable fibers] /
V. G. Spiridonova, O. G. Tsirkina, A. L. Nikiforov [et
al.]. *Pozharnaya i avariynaya bezopasnost': sbornik
materialov XV Mezhdunarodnoy nauchno-praktich-
eskoy konferencii, posvyashchennoj 30-j godovsh-
chine MChS Rossii*. Ivanovo: FGBOU VO
Ivanovskaya pozharo-spasatel'naya akademiya
GPS MChS Rossii, 2020, pp. 128–132.

16. Ocenka pozharoopasnyh svoystv

tekstil'nyh materialov iz prirodnyh cellyuloznyh vo-
lokon [Assessment of fire-hazardous properties of
textile materials made from natural cellulose fibers]
/ O. G. Tsirkina, L. V. Sharnina, A. L. Nikiforov [et
al.]. *Sovremennye problemy grazhdanskoj zash-
chity*, 2019, issue 3 (32), pp. 81–88.

17. Spiridonova V. G., Tsirkina O. G., Sha-
bunin S. A. Vliyanie vida otdelki na
pozharoopasnye svoystva tekstil'nyh materialov iz
hlopkovyh volokon [The effect of the type of finish
on the fire-hazardous properties of textile materials
made of cotton fibers]. *Aktual'nye voprosy
sovershenstvovaniya inzhenernykh sistem
obespecheniya pozharnoj bezopasnosti ob"ektov:
materialy IX Vserossijskoj nauchno-prakticheskoy
konferencii, posvyashchennoj 90-letiyu obra-
zovaniya grazhdanskoj oborony*. Ivanovo:
Ivanovskaya pozharo-spasatel'naya akademiya
GPS MChS Rossii, 2022, pp. 400–404.

18. ChatGPT for textile science and materials:
A perspective / Y. Xu, C. Zhi, H. Guo [et al.]. *Materials
Today Communications*, 2023, vol. 37, 107101,
<https://doi.org/10.1016/j.mtcomm.2023.107101>.

19. Analiz metodov ispytaniy po opredele-
niyu klassifikatsionnykh pokazatelej pozhar-
noy opasnosti tekstil'nyh materialov i problemnye voprosy ih
primeneniya [Analysis of test methods for deter-
mining classification indicators of fire hazard of tex-
tile materials and problematic issues of their appli-
cation] / V. G. Spiridonova, O. G. Tsirkina, A. H.
Salihova [et al.]. *Sovremennye problemy gra-
zhdanskoj zashchity*, 2025, vol. 1 (54), pp. 109–
123.

Клушин Алексей Николаевич

Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,
Российская Федерация, г. Иваново
соискатель ученой степени кандидата наук

E-mail: gpn-obninsk@mail.ru

Klushin Alexey 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 science degree candidate of sciences

E-mail: gpn-obninsk@mail.ru

Циркина Ольга Германовна

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

доктор технических наук, доцент, профессор

E-mail: ogtsirkina@mail.ru

Tsirkina Ol'ga Germanovna

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
E-mail: ogtsirkina@mail.ru

Спиридонова Вероника Гербертовна

Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,
Российская Федерация, г. Иваново
кандидат технических наук, старший преподаватель
E-mail: nika.spiridonowa@yandex.ru

Spiridonova Veronika Gerbertovna

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: nika.spiridonowa@yandex.ru

Пестов Игорь Васильевич

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

Pestov Igor Vasilyevich

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: pestov.ig@yandex.ru

УДК 614.841.411

ИЗУЧЕНИЕ ВЗАИМОСВЯЗИ РЕСУРСНОЙ ОБЕСПЕЧЕННОСТИ ОБЪЕКТОВОГО ПОДРАЗДЕЛЕНИЯ ПОЖАРНОЙ ОХРАНЫ И ФАКТОРОВ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИХ ПОЖАРНУЮ ОПАСНОСТЬ ОБЪЕКТОВ ПРОМЫШЛЕННОЙ СФЕРЫ

П. А. МАРАХОВ¹, А. А. ПОРОШИН², А. А. КОНДАШОВ²,
Е. Ю. УДАВЦОВА², Е. В. БОБРИНЕВ², Т. А. ШАВЫРИНА²

¹ Главное управление МЧС России,

² ФГБУ ВНИИПО МЧС России,
Российская Федерация, г. Балашиха

E-mail: otdel_1_3@mail.ru

В целях совершенствования методики расчета численности и технической оснащенности подразделений пожарной охраны, создаваемых для тушения пожаров и проведения аварийно-спасательных работ в организациях, утвержденной приказом МЧС России от 15.10.2021 № 700 «Об утверждении методик расчета численности и технической оснащенности подразделений пожарной охраны» проведены статистические исследования по изучению взаимосвязи ресурсной обеспеченности объектового подразделения пожарной охраны и факторов, определяющих пожарную опасность объектов промышленной сферы. Проведена аппроксимация распределений, полученных на основе анкетных данных, с использованием статистических законов распределения случайных величин. Методом главных компонент исследованы взаимосвязи тактико-технических параметров объектовых подразделений пожарной охраны и характеристики охраняемых объектов защиты. На примере производственных объектов, относящихся к химической и нефтехимической промышленности, выявлено семь значимых факторов, которые необходимо учитывать при обосновании ресурсного обеспечения объектовых подразделений пожарной охраны. Первый фактор показывает, что на тех производственных объектах, где расстояние до подразделения пожарной охраны местного пожарно-спасательного гарнизона большое, ресурсы местного гарнизона не учитываются при определении состава сил и средств объектового подразделения. Вторым по значимости фактор показывает взаимосвязь ресурсной обеспеченности объектового подразделения пожарной охраны с максимальным требуемым расходом воды на наружное пожаротушение. Третий фактор описывает особенности технологических процессов производственных объектов и оборота на них горючих и легковоспламеняющихся веществ. Факторы 4-6 описывают взаимосвязь ресурсной обеспеченности объектового подразделения пожарной охраны с площадью территории и застройки производственного объекта. Седьмой фактор описывает взаимосвязь ресурсов профилактического отделения с пожарной опасностью объекта.

Ключевые слова: объектовая пожарная охраны, производственный объект, распределения, факторный анализ, ресурсное обеспечение.

THE STUDY OF THE RELATIONSHIP BETWEEN THE RESOURCE SECURITY OF THE FIRE DEPARTMENT AND THE FACTORS DETERMINING THE FIRE HAZARD OF INDUSTRIAL FACILITIES

P. A. MARAKHOV¹, A. A. POROSHIN², A. A. KONDASHOV²,
E. Y. UDAVTSOVA², E. V. BOBRINEV², T. A. SHAVYRINA²

¹ The Main Directorate of the Ministry of Emergency Situations of Russia,

² FGBU VNIIPPO EMERCOM of Russia,
Russian Federation, Balashikha

E-mail: otdel_1_3@mail.ru

In order to improve the methodology for calculating the number and technical equipment of fire protection units created to extinguish fires and conduct emergency rescue operations in organizations, approved by Order of the Ministry of Emergency Situations of Russia dated 10/15/2021 No. 700 "On Approval of methods for calculating the number and technical equipment of fire protection units", statistical studies were conducted to study the relationship between the resource availability of the fire protection unit and factors determining the fire hazard of industrial facilities. The distributions obtained on the basis of personal data are approximated

using statistical laws of the distribution of random variables. The interrelationships of the tactical and technical parameters of the fire protection units and the characteristics of the protected objects of protection are investigated by the method of the main components. Using the example of production facilities related to the chemical and petrochemical industries, seven significant factors have been identified that must be taken into account when justifying the resource provision of fire protection units. The first factor shows that at those production facilities where the distance to the fire protection unit of the local fire and rescue garrison is large, the resources of the local garrison are not taken into account when determining the composition of the forces and means of the facility unit. The second most important factor shows the relationship between the resource availability of the fire department facility and the maximum required water consumption for outdoor firefighting. The third factor describes the features of the technological processes of production facilities and the turnover of combustible and flammable substances on them. Factors 4-6 describe the relationship between the resource availability of the fire department facility and the area of the territory and construction of the production facility. The seventh factor describes the relationship between the resources of the preventive department and the fire hazard of the facility.

Keywords: object fire protection, production facility, distribution, factor analysis, resource provision.

Приказом МЧС России от 15.10.2021 № 700 «Об утверждении методик расчета численности и технической оснащенности подразделений пожарной охраны» определены основные факторы, которые необходимо учитывать для расчета численности и технической оснащенности подразделений пожарной охраны, создаваемых для тушения пожаров и проведения аварийно-спасательных работ в организациях. В методике отсутствует математическая модель или эмпирические таблицы для проведения таких расчетов. В целях совершенствования данной методики разработана анкета с градациями указанных в методике факторов. Процедура анкетирования описана в статье [1]. Поскольку полученные в результате анкетирования данные могут иметь различные типы распределения, перед проведением факторного анализа проведена обязательная процедура – аппроксимация распределений, полученных в результате анкетирования данных, с использованием статистических законов распределения случайных величин. Цель исследований – изучение взаимосвязи ресурсной обеспеченности объектового подразделения пожарной охраны и факторов, определяющих пожарную опасность объектов промышленной сферы. Полученные результаты позволят в дальнейшем разработать математическую модель для расчета численности и технической оснащенности подразделений пожарной охраны, создаваемых для тушения пожаров и проведения аварийно-спасательных работ в организациях с учетом выделенных значимых факторов.

По результатам анкетного опроса получена информация от более 700 производственных предприятий, которые располагаются в 72 субъектах Российской Федерации. Значения

соответствующих характеристик были сгруппированы в данные гистограмм. Количество интервалов гистограммы выбрано равным $N = 30$, правая граница гистограммы выбиралась таким образом, чтобы в гистограмму попало около 95 % значений изучаемой характеристики.

Аппроксимация проводилась методом наименьших квадратов. Примеры аппроксимации приведены на рис. 1-5. Для идентификации закона, наилучшим образом описывающего изучаемое распределение, использовался χ^2 -критерий Пирсона.

На рис. 1 показано распределение расстояния по транспортной сети от производственного объекта до подразделения пожарной охраны местного пожарно-спасательного гарнизона, прибывающего на производственный объект согласно расписанию выездов. Данное распределение наилучшим образом описывается с использованием логнормального закона с параметрами $A = 1,04$, $\sigma = 1,38$, коэффициент детерминации $R^2 = 0,997$.

На рис. 2 показано распределение площади территории производственного объекта. Данное распределение наилучшим образом описывается с использованием логнормального закона с параметрами $A = 3,24$, $\sigma = 1,4$, коэффициент детерминации $R^2 = 0,928$.

На рис. 3 показано распределение численности персонала производственного объекта. Данное распределение наилучшим образом описывается с использованием логнормального закона с параметрами $A = 5,31$, $\sigma = 1,1$, коэффициент детерминации $R^2 = 0,906$.

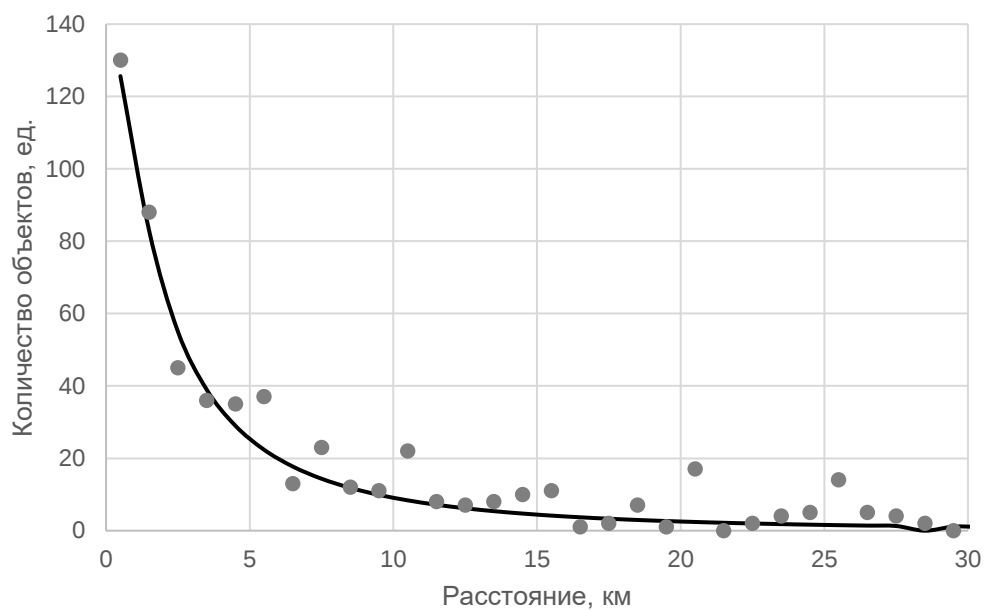


Рис. 1. Распределение расстояния по транспортной сети от производственного объекта до подразделения пожарной охраны местного пожарно-спасательного гарнизона.
Кривая – логнормальное распределение

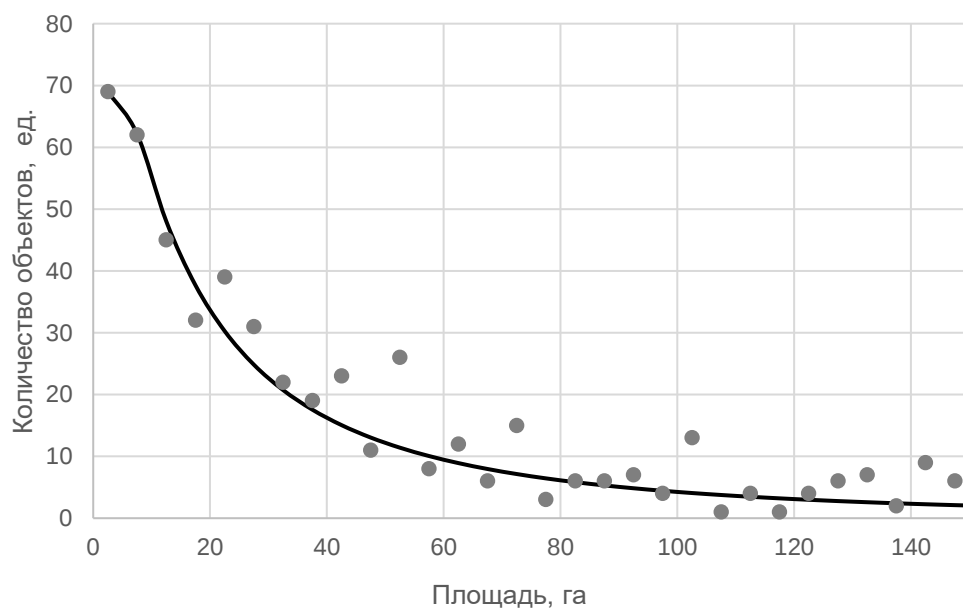


Рис. 2. Распределение площади территории производственного объекта.
Кривая – логнормальное распределение

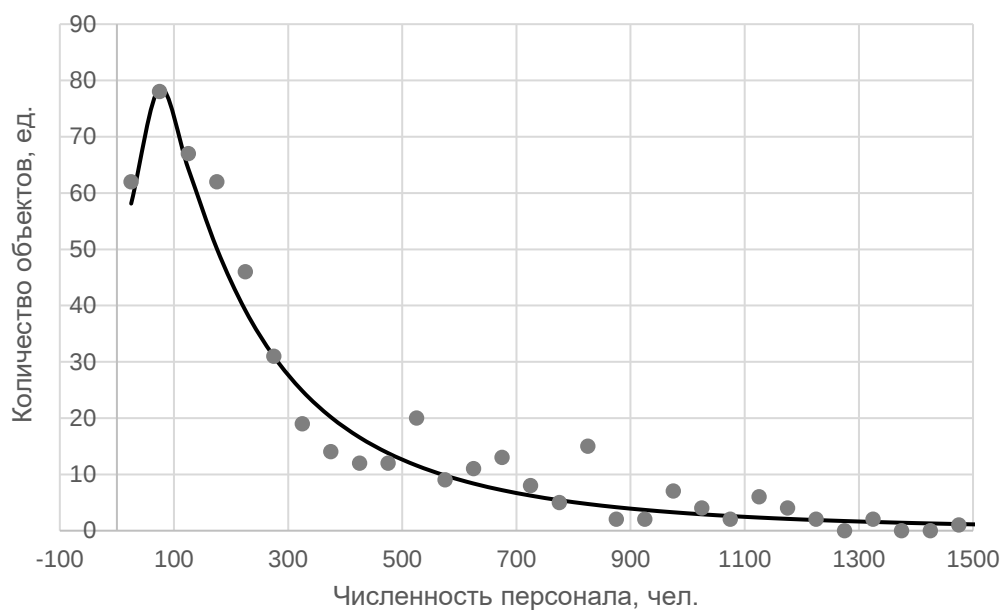


Рис. 3. Распределение численности персонала производственного объекта.
Кривая – логнормальное распределение

На рис. 4 показано распределение численности личного состава объектового подразделения пожарной охраны. Данное распределение наилучшим образом описывается с использованием гамма-распределения с параметрами $\lambda = 0,059$, $k = 1,69$, коэффициент детерминации $R^2 = 0,851$.

На рис. 5 показано распределение численности личного состава профилактического подразделения пожарной охраны. Данное распределение наилучшим образом описывается с использованием экспоненциального распределения с параметром наклона $\lambda = -0,37$, коэффициент детерминации $R^2 = 0,986$.

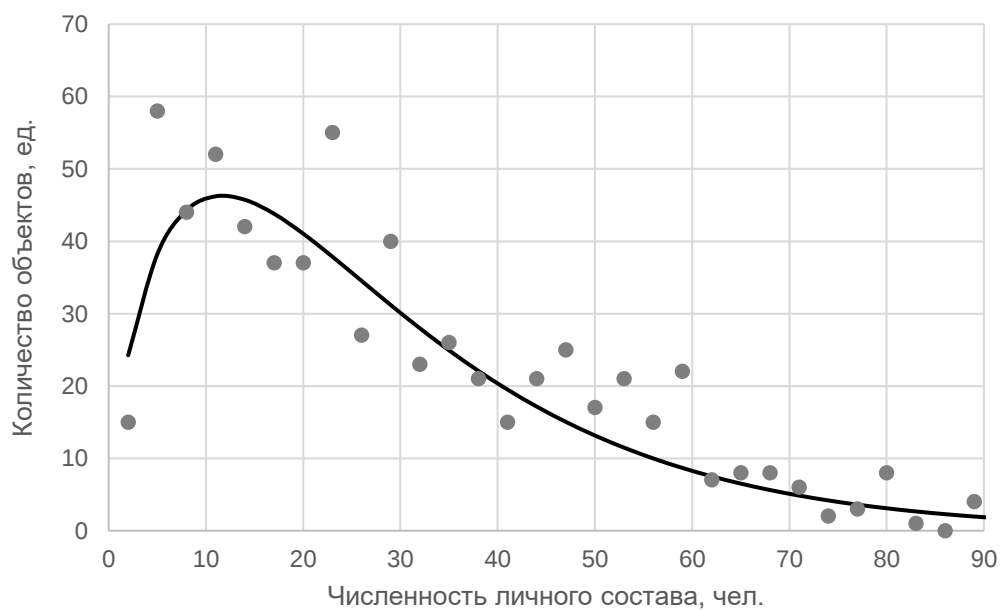


Рис. 4. Распределение численности личного состава объектового подразделения пожарной охраны.
Кривая – гамма-распределение

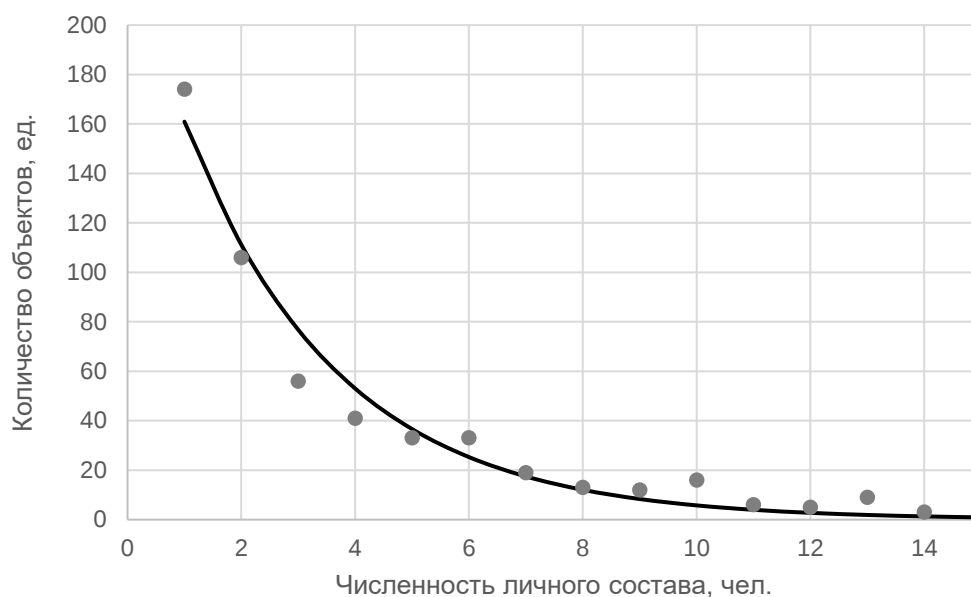


Рис. 5. Распределение численности личного состава профилактического подразделения производственного объекта. Кривая – экспоненциальное распределение

С использованием факторного анализа проведено изучение взаимосвязи тактико-технических параметров объектов подразделений пожарной охраны и охраняемых ими производственных объектов.

Факторный анализ выполняется с целью выявления структурных связей между показателями и выделения небольшого числа латентных факторов, изменение которых объясняет изменение наблюдаемых показателей [2, 3]. Факторный анализ включает три этапа:

- выделение первоначальных факторов;

- вращение выделенных факторов с целью облегчения их интерпретации в терминах исходных переменных;

- содержательная интерпретация новых факторов в предметных терминах, что является творческой задачей исследователя, выходящей за рамки формального метода.

Собранные статистические данные отличаются большой вариабельностью из-за различных размеров (численности персонала, площади территории) рассматриваемых производственных объектов. Для того чтобы привести статистические данные к сопоставимому виду, была проведена процедура преобразования множества натуральных показателей в синтетические, т.е. осуществлена нормировка показателей на численность персонала производственного объекта. Дальнейшее моделирование проводилось на основе полученной матрицы синтетических (преобразованных) пока-

зателей. Каждому из показателей была присвоена индивидуальная кодировка.

Всего для факторного анализа использовался 21 показатель, каждый из которых нормирован на численность персонала:

- площадь территории производственного объекта на 1 человека, га (X_1);

- площадь застройки производственного объекта зданиями и сооружениями на 1 человека, тыс. м² (X_2);

- площадь застройки производственного объекта открытыми технологическими установками на 1 человека, тыс. м² (X_3);

- численность персонала производственного объекта в наиболее загруженную смену на 1 человека, чел. (X_4);

- площадь застройки производственного объекта зданиями (сооружениями) и помещениями, отнесенными к категориям взрывопожароопасности А на 1 человека, тыс. м² (X_5);

- площадь застройки производственного объекта зданиями (сооружениями) и помещениями, отнесенными к категориям взрывопожароопасности Б на 1 человека, тыс. м² (X_6);

- площадь застройки производственного объекта зданиями (сооружениями) и помещениями, отнесенными к категориям взрывопожароопасности Г на 1 человека, тыс. м² (X_7);

- площадь застройки производственного объекта зданиями (сооружениями) и помещениями, отнесенными к категориям взрывопожароопасности Д на 1 человека, тыс. м² (X_8);

- площадь застройки производственного объекта зданиями (сооружениями) и

помещениями, отнесенными к категориям взрывопожароопасности В1-В4 на 1 человека, тыс. м² (X₉);

– фактическое количество пожаров в течение 5 лет на производственном объекте на 1000 человек, ед. (X₁₀);

– объем искусственных резервуаров, используемых на производственном объекте в качестве источников наружного противопожарного водоснабжения на 1 человека, м³ (X₁₁);

– расстояние по транспортной сети от производственного объекта до подразделения пожарной охраны местного пожарно-спасательного гарнизона, прибывающего на производственный объект в соответствии с расписанием выездов, км (X₁₂);

– количество пожарных автоцистерн, имеющих в распоряжении подразделения пожарной охраны производственного объекта на 1000 человек, ед. (X₁₃);

– численность личного состава подразделения пожарной охраны местного пожарно-спасательного гарнизона, прибывающего на производственный объект в соответствии с расписанием выездов на 1000 человек, чел. (X₁₄);

– количество пожарных автоцистерн, имеющих в распоряжении подразделения пожарной охраны местного пожарно-спасательного гарнизона, прибывающего на производственный объект в соответствии с расписанием выездов на 1000 человек, ед. (X₁₅);

– максимально требуемый расход воды на наружное пожаротушение зданий (сооружений) производственного объекта, в соответствии с нормативными документами по пожарной безопасности, л/с (X₁₆);

– максимально требуемый расход воды на наружное пожаротушение технологических установок производственного объекта, в соответствии с нормативными документами по пожарной безопасности, л/с (X₁₇);

– максимально требуемый расход воды на наружное пожаротушение зданий, в соответствии с разработанным планом тушения пожара производственного объекта, л/с (X₁₈);

– численность личного состава руководства подразделения пожаротушения производственного объекта на 1000 человек, чел. (X₁₉);

– численность личного состава подразделения пожаротушения производственного объекта на 1000 человек, чел. (X₂₀);

– численность личного состава профилактического подразделения производственного объекта на 1000 человек, чел. (X₂₁).

Для факторного анализа были отобраны производственные объекты, относящиеся к одинаковым отраслям производства, в частности к химической и нефтехимической промышленности – 63 объекта. Отбирались только те объекты, для которых в анкете корректно указаны значения всех показателей X₁ – X₂₁.

Для выделения значимых факторов использовались следующие методы: главных компонент, центроидный и максимального правдоподобия. Все три метода приводят к близким результатам, согласующимся между собой в пределах статистических погрешностей. В дальнейшем для проведения факторного анализа был выбран метод главных компонент. Для облегчения предметной интерпретации факторов было проведено их вращение в пространстве переменных. Использовались несколько методов вращения: варимакс (обеспечивает лучшее разделение факторов за счет уменьшения числа переменных, связанных с каждым фактором), кватримакс (имеет тенденцию к выделению генерального фактора и упрощения интерпретации за счет уменьшения числа факторов, связанных с каждой переменной), бикватримакс и эквимакс. Перед вращением выполнена нормализация факторных нагрузок методом Кайзера, чтобы исключить влияние на результат переменных с большой общностью. Анализ полученных результатов показал, что факторные нагрузки не зависят от метода вращения. В дальнейшем вращение осуществлялось методом варимакс.

Факторный анализ для группы производственных объектов, относящихся к химической и нефтехимической промышленности, выявил семь значимых факторов. При этом первый фактор объясняет 35,4 % общей дисперсии, второй фактор – 10,7 %, третий – 9,0 %, четвертый – 7,0 %, пятый – 6,0 %, шестой – 5,6 %, седьмой фактор объясняет 5,1 % общей дисперсии, в сумме семь значимых факторов объясняют 78,9 % общей дисперсии.

Значения факторных нагрузок для каждого из семи факторов приведены в таблице. Значимые показатели для каждого фактора выделены полужирным шрифтом.

Таблица. Матрица факторных нагрузок
(объекты химической и нефтехимической промышленности)

Переменная	Фактор						
	1	2	3	4	5	6	7
X ₁	0,211	0,136	0,053	0,646	0,419	-0,075	0,265
X ₂	0,022	0,100	0,002	0,719	-0,199	0,269	-0,143
X ₃	0,104	0,044	0,036	-0,054	0,932	0,064	-0,085
X ₄	0,164	-0,055	0,451	0,193	-0,013	0,001	-0,052
X ₅	-0,064	0,809	-0,140	0,176	-0,110	-0,152	-0,099
X ₆	-0,030	-0,082	-0,948	-0,013	-0,040	-0,002	-0,047
X ₇	-0,021	-0,117	0,086	-0,117	-0,040	-0,765	0,003
X ₈	0,022	0,554	-0,190	-0,057	-0,094	-0,594	0,002
X ₉	0,042	-0,075	-0,924	0,139	-0,079	0,001	-0,011
X ₁₀	0,034	0,010	-0,055	0,085	-0,037	-0,023	0,889
X ₁₁	0,289	0,345	0,094	0,636	0,113	-0,050	0,434
X ₁₂	0,935	-0,023	0,014	0,081	-0,056	-0,090	-0,146
X ₁₃	0,604	0,643	0,095	0,073	0,235	0,166	0,220
X ₁₄	0,641	0,339	0,124	0,221	0,533	0,099	0,289
X ₁₅	0,708	0,408	0,060	0,337	0,022	0,008	0,334
X ₁₆	0,279	0,632	0,148	-0,273	0,029	0,415	0,120
X ₁₇	0,136	0,753	0,116	0,133	0,293	0,031	-0,009
X ₁₈	0,208	0,884	0,066	0,138	0,003	0,060	0,201
X ₁₉	0,795	0,177	0,099	0,077	0,508	0,084	0,102
X ₂₀	0,452	0,631	0,181	0,219	0,314	0,161	0,194
X ₂₁	0,533	0,246	0,090	-0,105	0,052	0,124	0,500

Для первого фактора наиболее значимыми являются следующие переменные: X₁₂; X₁₃; X₁₄; X₁₅; X₁₉; X₂₁. Данный фактор связан с численностью личного состава и технической оснащённостью объектового подразделения пожарной охраны. Большой вес переменной X₁₂ показывает, что на тех производственных объектах, где расстояние до подразделения пожарной охраны местного пожарно-спасательного гарнизона большое, ресурсы местного гарнизона не учитываются при определении состава сил и средств объектового подразделения.

Для второго фактора наиболее значимыми являются следующие переменные: X₅; X₈; X₁₃; X₁₆; X₁₇; X₁₈; X₂₀. Данный фактор показывает взаимосвязь ресурсной обеспеченности объектового подразделения пожарной охраны с максимальным требуемым расходом воды на наружное пожаротушение, который, в свою очередь, зависит от площади застройки зданиями (сооружениями) и помещениями, отнесенными к наиболее взрывопожароопасной категории А.

Для третьего фактора наиболее значимыми являются следующие переменные: X₆; X₉. Данный фактор описывает особенности технологических процессов производственных объектов и оборота на них горючих и легковоспламеняющихся веществ.

Для четвертого фактора наиболее значимыми являются следующие переменные: X₁; X₂; X₁₁. Данный фактор показывает взаимосвязь

объема искусственных резервуаров от площади территории производственных объектов и её застройки зданиями и сооружениями.

Для пятого фактора наиболее значимыми являются следующие переменные: X₃; X₁₄; X₁₉. Данный фактор показывает, что на производственных объектах, где больше площадь застройки открытыми технологическими установками, выше численность личного состава пожарной охраны. Это можно объяснить тем, что при определении ресурсов подразделения пожарной охраны рассматриваются наиболее пожароопасные объекты, каковыми являются наружные установки.

Для шестого фактора наиболее значимыми являются следующие переменные: X₇; X₈. Данный фактор связан с застройкой территории производственного объекта зданиями (сооружениями) и помещениями, отнесенными к различным категориям пожарной и взрывопожароопасности, что может быть объяснено технологическими особенностями производства и оборота на них негорючих веществ.

Для седьмого фактора наиболее значимыми являются следующие переменные: X₁₀; X₂₁. Этот фактор показывает, что численность профилактического подразделения выше там, где выше частота пожаров (в расчете на численность персонала).

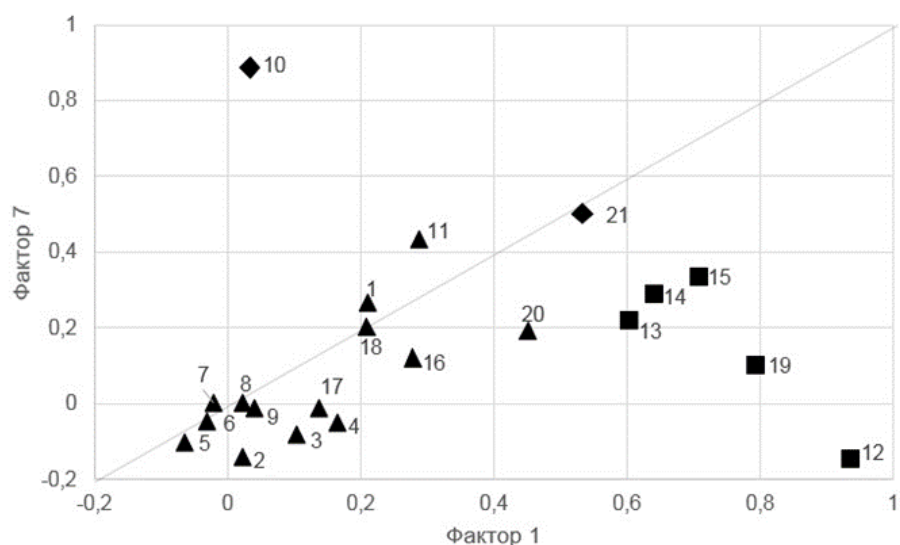


Рис. 6. Распределение факторных нагрузок переменных в плоскости фактор 1 – фактор 7

На рис. 6 показаны факторные нагрузки в плоскости фактора 1 «ресурсы пожарной охраны по тушению пожаров» и фактора 7 «ресурсы пожарной охраны по профилактике пожаров». Квадратом выделены значимые переменные для фактора 1, ромбом – для фактора 7.

Как видно из рис. 6, большинство из изученных показателей взаимосвязаны с обоими факторами. Следует обратить внимание на 2 показателя, удаленных от диагонали, проходящей через точки 0 и 1 – показатель X_{12} (расстояние по транспортной сети от производственного объекта до подразделения пожарной охраны местного пожарно-спасательного гарнизона, прибывающего на производственный объект в соответствии с расписанием выездов), связанный только с первым фактором, и показатель X_{10} (фактическое количество пожаров в течение 5 лет на производственном объекте на 1000 человек), связанный только с седьмым фактором.

Выводы.

1. Для информационного обеспечения расчетов ресурсного обеспечения объектовых подразделений пожарной охраны проведена аппроксимация распределений, полученных в результате анкетирования данных, с использованием статистических законов распределения случайных величин.

2. Методом главных компонент изучены взаимосвязи тактико-технических параметров объектовых подразделений пожарной охраны и охраняемых ими производственных объектов.

3. Показано, что на тех производственных объектах, где расстояние до подразделения пожарной охраны местного пожарно-

спасательного гарнизона большое, ресурсы местного гарнизона не учитываются при определении состава сил и средств объектового подразделения.

4. Показана взаимосвязь ресурсной обеспеченности объектового подразделения пожарной охраны с максимальным требуемым расходом воды на наружное пожаротушение, который, в свою очередь, зависит от площади застройки зданиями (сооружениями) и помещениями, отнесенными к наиболее взрывопожароопасной категории А.

5. Показана взаимосвязь объема искусственных резервуаров от площади территории производственных объектов и её застройки зданиями и сооружениями.

6. Показано, что численность профилактического подразделения выше там, где выше частота пожаров (в расчете на численность персонала).

7. На примере группы производственных объектов, относящихся к химической и нефтехимической промышленности, выявлено семь значимых факторов, оказывающих влияние на уровень пожарной опасности производственных объектов и, следовательно, эти факторы необходимо учитывать при расчете ресурсного обеспечения объектовых подразделений пожарной охраны.

8. Полученные результаты позволят разработать базовую структуру объектового подразделения пожарной охраны и систему коэффициентов, влияющих на ресурсную обеспеченность этого подразделения и зависящих от факторов пожарной опасности объектов промышленной сферы.

Список литературы

1. Формирование информационной базы для расчета ресурсного обеспечения пожарной охраны по защите организаций от пожаров / П. А. Марахов, А. А. Порошин, О. В. Стрельцов [и др.] // Современные проблемы гражданской защиты. 2024. № 3(52). С. 22–29.
2. Кобзарь А. И. Прикладная математическая статистика. Для инженеров и научных работников. М.: Физ-матлит, 2012. 816 с.
3. Изучение факторов, влияющих на формирование обстановки с пожарами в сельских поселениях субъектов Российской Федерации с использованием факторного анализа / А. А. Порошин, В. В. Харин, Е. В. Бобринев [и др.] // Безопасность техногенных и природных систем. 2018. № 1–2. С. 69–85.

References

1. Formirovanie informacionnoj bazy dlya rascheta resursnogo obespecheniya pozharnoj ohrany po zashchite organizacij ot pozharov [Formation of an information base for calculating the resource provision of fire protection to protect organizations from fires] / P. A. Marahov, A. A. Poroshin, O. V. Strel'cov [et al.]. *Sovremennye problemy grazhdanskoj zashchity*, 2024, vol. 3 (52), pp. 22–29.
2. Kobzar' A. I. *Prikladnaya matematicheskaya statistika. Dlya inzhenerov i nauchnyh rabotnikov*. [Applied mathematical statistics. For engineers and scientists]. Moscow: Fiz-matlit, 2012. 816 p.
3. Izuchenie faktorov, vliyayushchih na formirovanie obstanovki s pozharami v sel'skih poseleniyah sub'ektov Rossijskoj Federacii s ispol'zovaniem faktornogo analiza [The study of factors influencing the formation of the fire situation in rural settlements of the subjects of the Russian Federation using factor analysis] / A. A. Poroshin, V. V. Harin, E. V. Bobrinev [et al.]. *Bezopasnost' tekhnogennyh i prirodnyh system*, 2018, issue 1-2, pp. 69–85.

Марахов Павел Анатольевич

Главное управление МЧС России,
Российская Федерация, г. Москва

заместитель начальника Главного управления – начальник Управления организации деятельности пожарной охраны

E-mail: otдел_1_3@mail.ru

Marakhov Pavel Anatolyevich

The Ministry of the Russian Federation for Civil Defence, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters,
Russian Federation, Moscow

Deputy Head of the Main Department – Head of the Department of Organization of Fire Protection Activities

E-mail: otдел_1_3@mail.ru

Порошин Александр Алексеевич

ФГБУ ВНИИПО МЧС России,
Российская Федерация, г. Балашиха

доктор технических наук, главный научный сотрудник

E-mail: otдел_1_3@mail.ru

Poroshin Alexander Alexeevich

Federal State-Financed Establishment «All-Russian Research Institute for Fire Protection of Ministry of Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters»,
Russian Federation, Balashikha

doctor of technical sciences, chief scientific officer

E-mail: otдел_1_3@mail.ru

Кондашов Андрей Александрович

ФГБУ ВНИИПО МЧС России,

Российская Федерация, г. Балашиха

кандидат физико-математических наук, ведущий научный сотрудник

E-mail: otel_1_3@mail.ru

Kondashov Andrey Alexandrovich

Federal State-Financed Establishment «All-Russian Research Institute for Fire Protection of Ministry of Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters»,

Russian Federation, Balashikha

candidate of physical and mathematical sciences, senior researcher

E-mail: otel_1_3@mail.ru

Удавцова Елена Юрьевна

ФГБУ ВНИИПО МЧС России,

Российская Федерация, г. Балашиха

кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник

E-mail: otel_1_3@mail.ru

Udavtsova Elena Yuryevna

Federal State-Financed Establishment «All-Russian Research Institute for Fire Protection of Ministry of Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters»,

Russian Federation, Balashikha

candidate of technical sciences, senior researcher

E-mail: otel_1_3@mail.ru

Бобринев Евгений Васильевич

ФГБУ ВНИИПО МЧС России,

Российская Федерация, г. Балашиха

кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник

E-mail: otel_1_3@mail.ru

Bobrinev Evgeny Vasil'yevich

Federal State-Financed Establishment «All-Russian Research Institute for Fire Protection of Ministry of Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters»,

Russian Federation, Balashikha

candidate of biological sciences, senior researcher

E-mail: otel_1_3@mail.ru

Шавырина Татьяна Александровна

ФГБУ ВНИИПО МЧС России,

Российская Федерация, г. Балашиха

ведущий научный сотрудник

E-mail: otel_1_3@mail.ru

Shavyrina Tatyana Aleksandrovna

Federal State-Financed Establishment «All-Russian Research Institute for Fire Protection of Ministry of Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters»,

Russian Federation, Balashikha

senior researcher

E-mail: otel_1_3@mail.ru

УДК 614.841.415:621.31

УСТАНОВКА ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ТЕРМИЧЕСКОГО СТАРЕНИЯ ИЗОЛЯЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ КАБЕЛЬНЫХ ИЗДЕЛИЙ

С. Н. УЛЬЕВА, И. А. БОГДАНОВ, А. Л. НИКИФОРОВ

Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,

Российская Федерация, г. Иваново

E-mail: jivotjagina@mail.ru; i.a.bogdanov@bk.ru; anikiforoff@list.ru.

В статье проводится анализ пожарной опасности кабельных изделий, рассматриваются недостатки стандартных методов оценки пожарной опасности кабельных изделий, а также недостатки существующих методов ускоренного термического состаривания изоляции кабельных изделий. Приводятся результаты работы по разработке экспериментальной установки для ускоренного термического состаривания кабельных изделий с целью оценки их пожарной опасности в условиях длительной эксплуатации. Основное внимание уделено кабельным изделиям с ПВХ изоляцией.

Ключевые слова: кабельные изделия, ПВХ, изоляция, эксплуатационное старение, ускоренное состаривание, пожарная опасность, экспериментальная установка.

INSTALLATION FOR MODELING THERMAL AGING OF INSULATING MATERIALS OF CABLE PRODUCTS

S. N. UL'EVA, I. A. BOGDANOV, A. L. NIKIFOROV

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: jivotjagina@mail.ru; i.a.bogdanov@bk.ru; anikiforoff@list.ru

The article analyzes the fire hazard of cable products, examines the disadvantages of standard methods for assessing the fire hazard of cable products, as well as the disadvantages of existing methods of accelerated thermal aging of cable insulation. The paper presents the results of work on the development of an experimental installation for accelerated thermal aging of cable products in order to assess their fire hazard in long-term operation. The focus is on PVC insulated cable products.

Keywords: cable products, PVC, insulation, operational aging, accelerated aging, fire hazard, experimental installation.

Одной из основных причин пожаров в Российской Федерации является нарушение правил устройства и эксплуатации электрооборудования. Основным объектом возникновения пожаров, возникших по этой причине, является кабель или провод¹. Пожарная опасность кабельных изделий обусловлена наличием всего необходимого для возникновения и распространения пожара: источник зажигания (пожароопасные проявления электрического тока), горячая среда (горючие изоляционные материалы) и окислитель (кислород воздуха).

В соответствии с ГОСТ 31565-2012² к кабельным изделиям предъявляются требования по пожарной безопасности, которые характеризуются следующими показателями: предел распространения горения кабельного изделия при одиночной прокладке, предел распространения горения кабельного изделия при групповой прокладке, предел огнестойкости кабельного изделия в условиях воздействия пламени, показатель коррозионной активности продуктов дымогазовыделения при горении и тлении каждого из полимерных материалов кабельного изделия, эквивалентный показатель токсичности

© Ульяева С. Н., Богданов И. А., Никифоров А. Л., 2025

¹ Пожары и пожарная безопасность в 2023 году: информ. - аналитич. сб. Балашиха: ФГБУ ВНИИПО МЧС России, 2024. 110 с.

² ГОСТ 31565-2012. Кабельные изделия Требования пожарной безопасности.

продуктов горения кабельного изделия, показатель дымообразования при горении и тлении кабельного изделия. Однако эти требования не являются обязательными для всех кабельных изделий, а применимы только к кабельным изделиям, которые должны соответствовать требованиям пожарной безопасности. Существуют и другие пробелы в нормативном правовом регулировании обеспечения пожарной безопасности кабельных изделий, которые рассматривались авторами в работе [1].

В процессе эксплуатации кабельных изделий протекает процесс изменения их свойств и характеристик под воздействием различных факторов, возникающих в процессе эксплуатации. Эксплуатационное старение может привести к снижению надёжности и безопасности работы электропроводок и кабельных линий, а также к сокращению их срока службы. Актуальной задачей является оценка влияния старения кабельных изделий на их пожарную опасность.

Основными негативными эксплуатационными факторами являются: электрические нагрузки (напряжение, ток); температурные воздействия (перегрев, колебания температуры); механические напряжения (изгиб, растяжение, сжатие); воздействие агрессивных сред (влажности, химических веществ, пыли); ультрафиолетовое излучение; вибрация и динамические нагрузки. При прокладке электропроводок внутри отапливаемых помещений основным деструктивным фактором является повышенная температура, возникающая при прохождении электрического тока.

В процессе старения в материалах кабельных изделий происходят различные физико-химические процессы, такие как: окисление изоляционных материалов; термическое старение, связанное с повышением температуры; механические повреждения и усталостные явления в структуре материалов; диффузионные процессы, приводящие к изменению химического состава материалов; электрические пробои и частичные разряды.

Старение кабельных изделий может привести к следующим последствиям: снижению электрической прочности изоляции; ухудшению механических свойств материалов; изменению геометрических параметров кабелей; появлению трещин и дефектов в изоляции; снижению срока службы кабельных изделий; повышению их пожарной опасности [2-4].

Для предотвращения и замедления старения кабельных изделий применяются различные методы: выбор материалов и конструкций кабелей и проводов, устойчивых к воздействию эксплуатационных факторов; оптимизация электрических и температурных режимов эксплуатации; защита кабельных изделий от механических повреждений и воздействия

агрессивных сред; регулярный контроль состояния электропроводок и кабельных линий, а также проведение профилактических мероприятий.

Пластикат на основе поливинилхлорида (ПВХ) является наиболее распространённым материалом, который производители применяют для изготовления изоляции кабельных изделий. Кроме ПВХ в состав пластиката входят пластификаторы, пигменты, стабилизаторы, смазки, а также минеральные наполнители и эластомеры [5]. В качестве пластификаторов используют сложные эфиры. Их доля в составе определяет основные эксплуатационные характеристики изоляции. Однако, несмотря на все разнообразие представленных на рынке марок проводов и кабелей, базовая композиция ПВХ изоляции включает в себя: экструзионный поливинилхлорид, пластификатор, стабилизатор и пигмент.

Старение полимеров представляет собой многофакторный процесс, детерминированный совокупностью физических и химических трансформаций, которые происходят на различных этапах жизненного цикла материалов и изделий. Этот процесс направлен на достижение термодинамического и статистического равновесия в системе. Негативные факторы, способствующие старению, могут действовать как по отдельности, так и в комплексе [6,7]. В связи с этим исследования влияния температурных условий на пожарную опасность изоляционных материалов на основе ПВХ имеют большую научную и практическую значимость.

Одним из методов, позволяющих определить устойчивость материалов и конструкций кабелей к воздействию эксплуатационных факторов, является моделирование условий эксплуатации в лабораторных условиях. Этот метод также известен как ускоренное состаривание. Ускоренное состаривание представляет собой процесс, в ходе которого образцы материалов или изделий подвергаются воздействию факторов, имитирующих эксплуатационные условия с повышенной интенсивностью. Это позволяет сократить время, необходимое для оценки устойчивости образцов, и получить более надёжные результаты.

В процессе ускоренного состаривания могут использоваться различные методы и установки, позволяющие моделировать температурные, влажностные, химические и другие воздействия. Результаты таких испытаний могут быть использованы для прогнозирования срока службы кабельных изделий в реальных условиях эксплуатации и выбора наиболее подходящих материалов и конструкций.

Таким образом, моделирование условий эксплуатации в лабораторных условиях

является эффективным методом, позволяющим обеспечить выбор материалов и конструкций проводов и кабелей, устойчивых к воздействию эксплуатационных факторов. Это способствует повышению надёжности и долговечности кабельных систем в различных отраслях промышленности и народного хозяйства.

На сегодняшний день для прогнозирования процессов теплового старения наиболее распространенных видов композиций для изоляции и оболочек применяются методы, определённые ГОСТ Р МЭК 60811-1-2-2006³, в соответствии с которым старение образцов

материала изоляции производят без токопроводящей жилы и оболочки. Образцы подвешивают вертикально и преимущественно в середине термостата на расстоянии не менее 20 мм друг от друга. Данный стандарт не учитывает влияние токопроводящей жилы и прохождение электрического тока по ней.

Целью работы является разработка экспериментальной установки для ускоренного термического состаривания кабельных изделий с целью оценки их пожарной опасности в условиях длительной эксплуатации.

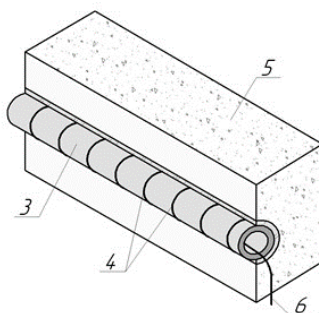
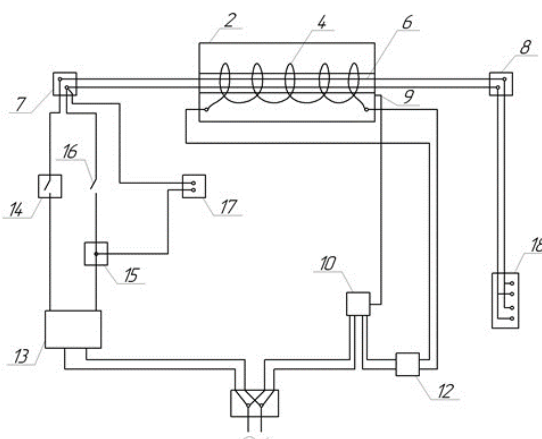
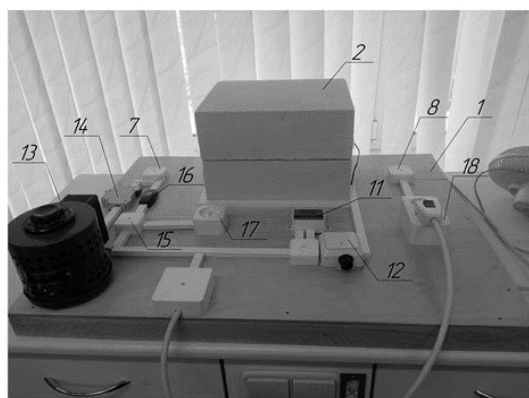


Рисунок. Экспериментальная установка для ускоренного термического состаривания кабельных изделий

- 1 – основание; 2 – камера для термостатирования; 3 – керамическая труба; 4 – нихромовая спираль;
 5 – монолитный термоизолирующий корпус; 6 – образец кабельного изделия;
 7, 8, 15 – распределительные колодки с клеммами; 9 – термодатчик; 10 – термореле;
 11 – устройство вывода показаний термодатчика; 12 – регулятор мощности;
 13 – регулятор напряжения; 14 – автоматический выключатель; 16 – переключатель режимов работы;
 17 – разъем для подключения контрольно-измерительного прибора;
 18 – разъем для подключения потребителей электроэнергии

Для достижения цели исследования была разработана экспериментальная установка для ускоренного термического состаривания кабельных изделий, которая содержит установленную на общем основании термостатирующую камеру с цилиндрической проходной

камерой нагрева для горизонтального размещения образца электрического кабеля в виде отрезка и подключения его к электрической цепи, включающей контур управления термостатирующей камерой, содержащий термодатчик, термореле и регулятор мощности.

³ ГОСТ Р МЭК 60811-1-2-2006. Общие методы испытаний материалов изоляции и оболочек

электрических и оптических кабелей. Часть 1-2. Методы общего применения. Методы теплового старения.

Установка имеет контур для подключения испытуемого образца, содержащий регулятор напряжения, а также подсоединенные в параллель автоматический выключатель и переключатель режимов работы (выполненный с возможностью подключения контрольно-измерительного прибора). К контуру возможно подключение потребителей электроэнергии, а экспериментальная установка подключается к источнику напряжения. Термостатирующая камера содержит цилиндрическую проходную камеру в виде керамической трубы с размещенной на её поверхности нихромовой спиралью и помещенную в разъемный монокристаллический термоизолирующий корпус. Термореле снабжено устройством вывода показаний термодатчика. В качестве термодатчика используют термопару. Схема и фото предлагаемой экспериментальной установки приведены на рисунке.

Работает экспериментальная установка следующим образом. Испытуемый образец в виде отрезка кабеля располагают внутри термостатирующей камеры, концы испытуемого образца подключают к клеммам распределительных коробок. К разъемам блока подключают потребителей электроэнергии для создания нагрузки в электрической цепи. Установку подключают к источнику напряжения. Регулятор мощности позволяет изменять напряжение в контуре цепи с подключенным испытуемым образцом. Автоматический выключатель обеспечивает отключение питания электрической

цепи при аварийном режиме работы. Переключатель режимов работы позволяет переключать устройство между режимами «измерение/штатная работа». В режиме «измерение» с подключенным к разъемам блока мультиметром обеспечивается возможность для измерения силы тока в цепи. Мощность нагрева термостатирующей камеры нихромовой спиралью устанавливают регулятором мощности. Температурный режим в термостатирующей камере по показаниям термодатчика поддерживают и регулируют с помощью термореле. Ускоренное состаривание испытуемого образца электрического кабеля осуществляют при заданном нагреве в термостатирующей камере, заданной токовой нагрузке и в течение заданного периода времени, также возможно осуществление указанного процесса при воздействии высоких температур различных значений и вариативной токовой нагрузке. После ускоренного состаривания образцов кабельных изделий предполагается их испытание на пожарную опасность по стандартным, а также по предлагаемым нами методам [8–10].

Изготовленный экспериментальный образец установки для ускоренного термического состаривания кабельных изделий по результатам испытаний показал работоспособность предложенной конструкции. Получен патент на полезную модель [11], результаты испытаний подтвердили эффективность предлагаемого технического решения.

Список литературы

1. Проблемы нормативного регулирования обеспечения пожарной безопасности кабельной продукции / И. А. Богданов, С. Н. Ульяева, С. А. Шабунин [и др.] // Актуальные вопросы совершенствования инженерных систем обеспечения пожарной безопасности объектов : сборник материалов X всероссийской научно-практической конференции, Иваново, 20 апреля 2023 года. – Иваново: Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, 2023. – С. 73–76.
2. Оценка влияния температурных воздействий на пожарную опасность изоляции на основе ПВХ-диэлектриков / И. А. Богданов, С. А. Шабунин, С. Н. Ульяева [и др.] // Современные проблемы гражданской защиты. 2022. № 4(45). С. 64–70.
3. Исследование термического старения ПВХ-изоляции кабельной продукции методом ИК-спектроскопии / И. А. Богданов, С. А. Шабунин, А. А. Кочетова [и др.] // Полимерные материалы пониженной горючести: сборник материалов XI Международной

конференции. Волгоград: Волгоградский государственный технический университет, 2023. С. 36–39.

4. Оценка влияния старения полимеров на изменение их пожароопасных свойств / И. А. Богданов, С. Н. Ульяева, А. Л. Никифоров [и др.] // Современные проблемы гражданской защиты. 2025. № 1 (54). С. 5–11.

5. Полимерные материалы. Изделия, оборудование, технологии. Вып. № 2, 2002; № 4, 5, 7, 8, 9, 10, 2003

6. Структурные изменения в смесях линейных полимеров в процессе их физического старения / Н. В. Бабкина, Л. Ф. Косянчук, Т. Т. Тодосийчук [и др.] // Высокомолекулярные соединения. Серия А. 2012. Т. 54. № 2. С. 256.

7. White J.R. Comp. Rend. Chim. 2006. V. 9. P. 1396. Emanuelsson V, Simonson M and Gevert T, Fire Mater 3: 311–326 (2007).

8. Богданов И. А., Никифоров А. Л. Разработка нового подхода к оценке влияния термического старения на пожарную опасность ПВХ-изоляции электрокабельных изделий с целью предупреждения пожаров // Молодежная программа 28-ой Международной специализированной выставки-форума «Безопасность и

охрана труда» БИОТ-2024: сборник трудов Конкурса научно-исследовательских работ (Конкурс НИР). М.: Ассоциация «СИЗ», 2025. С. 11–14.

9. Разработка научно-обоснованного подхода к оценке влияния термического старения ПВХ-изоляции на пожарную опасность кабельных изделий / И. А. Богданов, С. А. Шабунин, С. Н. Ульяева [и др.] // Современные проблемы гражданской защиты. 2024. № 2 (51). С. 18–24.

10. К вопросу о разработке нового подхода к оценке влияния термического старения на пожарную опасность ПВХ-изоляции электрокабельных изделий на основе показателя кислородного индекса / И. А. Богданов, С. А. Шабунин, С. Н. Ульяева [и др.] // Современные проблемы гражданской защиты. 2023. № 2 (47). С. 54–60.

11. Патент на полезную модель № 229217 U1 Российская Федерация, МПК G01N 25/50. Устройство подготовки образцов электрических кабелей к испытаниям на общую горючесть / И. А. Малый, В. В. Булгаков, А. Л. Никифоров [и др.]; опубл. 26.09.2024, Бюл. № 27.

References

1. Problemy` normativnogo regulirovaniya obespecheniya pozharnoj bezopasnosti kabel`noj produkcii [Problems of regulatory regulation of fire safety of cable products] / I. A. Bogdanov, S. N. Ul`eva, S. A. Shabunin [et al.]. *Aktual`ny`e voprosy` sovershenstvovaniya inzhenerny`x sistem obespecheniya pozharnoj bezopasnosti ob`ektov: sbornik materialov X vserossijskoj nauchno-prakticheskoy konferencii*. Ivanovo: Ivanovskaya pozharo-spatatel`naya akademiya GPS MChS Rossii, 2023, pp. 73–76.

2. Ocenka vliyaniya temperaturny`x vozdeystvij na pozharную opasnost` izolyacii na osnove PVX-die`lektrikov [Assessment of the effect of temperature effects on the fire hazard of PVC dielectric insulation] / I. A. Bogdanov, S. A. Shabunin, S. N. Ul`eva [et al.]. *Sovremenny`e problemy` grazhdanskoj zashhity`*, 2022, vol. 4 (45), pp. 64–70.

3. Issledovanie termicheskogo stareniya PVX-izolyacii kabel`noj produkcii metodom IK-spektroskopii [Investigation of thermal aging of PVC insulation of cable products by IR spectroscopy] / I. A. Bogdanov, S. A. Shabunin, A. A. Kochetova [et al.]. *Polimernye materialy` ponizhennoj goryuchesti: sbornik materialov XI Mezhdunarodnoj konferencii*, Volgograd, 19–22 sentyabrya 2023 goda. Volgograd: Volgogradskij gosudarstvenny`j texnicheskij universitet, 2023, pp. 36–39.

4. Ocenka vliyaniya stareniya polimerov na izmenenie ix pozharоopasny`x svoystv [Assessment of the effect of polymer aging on changes in

their fire-hazardous properties] / I. A. Bogdanov, S. N. Ul`eva, A. L. Nikiforov [et al.]. *Sovremenny`e problemy` grazhdanskoj zashhity`*, 2025, vol. 1 (54), pp. 5–11.

5. *Polimernye materialy. Izdeliya, oborudovanie, tekhnologii* [Polymeric materials. Products, equipment, technologies], 2002, issue 2; 2003, issue 4, 5, 7, 8, 9, 10.

6. Strukturnye izmeneniya v smesyah linejnyh polimerov v processe ih fizicheskogo stareniya [Structural changes in mixtures of linear polymers during their physical aging] / N. V. Babkina, L. F. Kosyanchuk, T. T. Todosi-jchuk [et al.]. *Vysokomolekulyarnye soedineniya*, Seriya A, 2012, vol. 54, issue 2, p. 256.

7. White J. R. Comp. Rend. Chim. 2006. V. 9. P. 1396. Emanuelsson V, Simonson M and Gevert T, Fire Mater 3: 311–326 (2007).

8. Bogdanov I. A., Nikiforov A. L. Razrabotka novogo podxoda k ocenke vliyaniya termicheskogo stareniya na pozharную opasnost` PVX-izolyacii e`lektrokabel`ny`x izdelij s cel`yu preduprezhdeniya pozharov [Development of a new approach to assessing the effect of thermal aging on the fire hazard of PVC insulation of electrical cable products in order to prevent fires]. *Molodezhnaya programma 28-oy Mezhdunarodnoj spetsializirovannoy vystavki – foruma «Bez-opasnost` i okhrana truda» BIOT-2024: sbor-nik trudov Konkursa nauchno-issledovatel'skikh rabot (Konkurs NIR)*. Moscow: Associaciya «SIZ», 2025, pp. 11–14.

9. Razrabotka nauchno-obosnovannogo podxoda k ocenke vliyaniya termicheskogo stareniya PVX-izolyacii na pozharную opasnost` kabel`ny`x izdelij [Development of a scientifically based approach to assessing the effect of thermal aging of PVC insulation on the fire hazard of cable products] / I. A. Bogdanov, S. A. Shabunin, S. N. Ul`eva [et al.]. *Sovremenny`e problemy` grazhdanskoj zashhity`*, 2024, vol. 2 (51), pp. 18–24.

10. K voprosu o razrabotke novogo podxoda k ocenke vliyaniya termicheskogo stareniya na pozharную opasnost` PVX-izolyacii e`lektrokabel`ny`x izdelij na osnove pokazatelya kislorodnogo indeksa [On the development of a new approach to assessing the impact of thermal aging on the fire hazard of PVC insulation of electrical cable products based on the oxygen index] / I. A. Bogdanov, S. A. Shabunin, S. N. Ul`eva [et al.]. *Sovremenny`e problemy` grazhdanskoj zashhity`*, 2023, vol. 2 (47), pp. 54–60.

11. Maly`j I. A., Bulgakov V. V., Nikiforov A. L. [et al.]. Ustrojstvo podgotovki obrazczov e`lektricheskix kabelej k ispy`taniyam na obshhuyu goryuchest` [Device for preparing samples of electrical cables for general combustibility tests], Patent na poleznuyu model` 229217 U1 Rossijskaya Federaciya MPK G01N 25/50, opubl. 26.09.2024. Byul. № 27.

Ульева Светлана Николаевна

Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,

Российская Федерация, г. Иваново

кандидат химических наук, доцент

E-mail: jivotjagina@mail.ru

Ulleva Svetlana Nikolaevna

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

Russian Federation, Ivanovo

candidate of chemical sciences, associate professor

E-mail: jivotjagina@mail.ru

Богданов Илья Андреевич

Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,

Российская Федерация, г. Иваново

адъюнкт очной формы обучения адъюнктуры

E-mail: i.a.bogdanov@bk.ru

Bogdanov Ilya Andreevich

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: i.a.bogdanov@bk.ru

Никифоров Александр Леонидович

Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,

Российская Федерация, г. Иваново

доктор технических наук, профессор

E-mail: anikiforoff@list.ru

Nikiforov Alexander Leonidovich

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

Russian Federation, Ivanovo

doctor of technical sciences, professor

E-mail: anikiforoff@list.ru

УДК 620.197.3

ИССЛЕДОВАНИЕ ДЕГРАДАЦИИ ИНГИБИТОРОВ ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ КАВИТАЦИИ И ЕЕ ПОСЛЕДСТВИЯ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ОБЪЕКТОВ

И. Ф. ХАФИЗОВ, Р. М. СУЛТАНОВ, Д. Р. БАКИРОВ, Р. Х. БАКИРОВ, Е. А. СПЫНУ

Уфимский государственный нефтяной технический университет,

Российская Федерация, г. Уфа

E-mail: ildar.hafizov@mail.ru, sultanov55@mail.ru, damir.bakirov.99@mail.ru,
bakirov_robert@mail.ru, pkpb@mail.ru

В данной статье анализируется проблема коррозии магистральных трубопроводов, являющихся критически важными для транспортировки нефти, газа и воды, а также как источник значительных экономических и экологических потерь. Помимо экономических потерь, также остро стоит вопрос пожарной безопасности, поскольку коррозия трубопроводов ведет не только к утечкам и экологическим катастрофам, но и к повышенной вероятности возникновения пожаров вследствие разлива горючих материалов и нарушения целостности системы.

Исследование сосредоточено на сравнительной оценке эффективности ингибиторов коррозии: состава на основе полиакрилата натрия и промышленного ингибитора ВИКОР, под влиянием кавитационного воздействия; кавитационно-вихревого воздействия, имитирующего условия, способствующие образованию микропузырьков и нарушению формирования защитного адсорбционного слоя. Для определения защитных свойств применялся гравиметрический метод, позволяющий на основе измерения потери массы стальных образцов в агрессивной среде с ингибитором и без него рассчитать скорость коррозии и степень защиты.

Параллельные эксперименты проводились с периодическим ультразвуковым воздействием, результаты которых, представленные в виде таблиц и графиков, показали снижение эффективности ингибиторов: для полиакрилата натрия – с 89 % до 64-75 %, для ингибитора ВИКОР – до 70-80 %.

Таким образом, результаты исследования подчёркивают необходимость совершенствования методов ингибиторной защиты и оптимизации условий применения для повышения надежности трубопроводных систем, обеспечения безопасности транспортировки углеводородов и сокращения расходов на замену коррозионно разрушенных элементов инфраструктуры.

Ключевые слова: пожарная опасность, кавитация, кавитационно-вихревое воздействие, коррозия; скорость коррозии; ингибитор, полиакрилат натрия.

STUDY OF INHIBITOR DEGRADATION UNDER THE INFLUENCE OF CAVITATION AND ITS IMPLICATIONS FOR FIRE SAFETY OF FACILITIES

I. F. KHAFIZOV, R. M. SULTANOV, D. R. BAKIROV, R. H. BAKIROV, E. A. SPYNU

Ufa State Petroleum Technical University,

Russian Federation, Ufa

E-mail: ildar.hafizov@mail.ru, sultanov55@mail.ru, damir.bakirov.99@mail.ru,
bakirov_robert@mail.ru, pkpb@mail.ru

This article analyses the problem of corrosion of trunk pipelines, which are critical for the transportation of oil, gas and water, as well as a source of significant economic and environmental losses. In addition to economic losses, the issue of fire safety is also acute, as corrosion of pipelines leads not only to leaks and environmental disasters, but also to an increased probability of fires due to the spillage of combustible materials and violation of the integrity of the system.

The research is focused on the comparative evaluation of the effectiveness of corrosion inhibitors: sodium polyacrylate-based formulation and industrial inhibitor VIKOR, under the influence of cavitation action. Cavitation-vortex impact, simulating the conditions that promote the formation of microbubbles and disruption of the formation of protective adsorption layer. To determine the protective properties the gravimetric method was used, which allows to calculate the corrosion rate and the degree of protection on the basis of measuring the mass loss of steel samples in an aggressive environment with and without inhibitor.

Parallel experiments were carried out with periodic ultrasonic influence, the results of which, presented in the form of tables and graphs, showed a decrease in inhibitor efficiency: for sodium polyacrylate – from 89 % to 64-75 %, for VIKOR inhibitor – to 70-80 %.

Thus, the results of the study underline the need to improve inhibitor protection methods and optimise application conditions to improve the reliability of pipeline systems, ensure the safety of hydrocarbon transportation and reduce the cost of replacing corrosion-damaged infrastructure elements.

Keywords: fire hazard, cavitation, cavitation-vortex effect, corrosion, corrosion rate, inhibitor, sodium polyacrylate.

Введение

В настоящее время трубопроводный транспорт является ключевым элементом современной инфраструктуры, обеспечивающим транспортировку нефти, газа, воды и других жизненно важных ресурсов на значительные расстояния. Только на территории Российской Федерации в эксплуатации находится по меньшей мере 350 тыс. километров промышленных трубопроводов. Однако, несмотря на свою незаменимость, эта отрасль сталкивается с серьезной проблемой – коррозией, которая оказывает разрушительное воздействие на целостность трубопроводов, приводя к авариям, утечкам, загрязнению окружающей среды и значительным экономическим потерям.

Статистика свидетельствует о том, что коррозия является одной из основных причин аварий и отказов на трубопроводном транспорте. По данным, описанным в работах [1, 3], до 90 % всех отказов на магистральных трубопроводах происходит по причине коррозионного износа. Лишь немногим более половины трубопроводных систем способны выдержать пятилетний срок эксплуатации. Остальные 42 % выходят из строя раньше, а 17 % демонстрируют отказы в работе уже в первые два года после ввода в эксплуатацию. Большинство отказов не только приводят к потере транспортируемого продукта, но и представляют серьезную угрозу для жизни людей, экологической и пожарной безопасности прилегающих территорий и стабильности работы энергетической отрасли в целом.

Магистральные нефтепродуктопроводы представляют собой значительную пожарную опасность, обусловленную как их протяженностью, так и характером транспортируемого сырья. В случае аварийных ситуаций нефть, перекачиваемая по таким трубопроводам, способна растекаться на обширные территории, создавая условия для масштабных пожаров. Особую угрозу представляет процесс ликвидации последствий разлива нефти, так как в зоне аварии могут находиться различные источники воспламенения, включая искры от работы оборудования, остаточное электричество, открытое

пламя, нагретые поверхности и даже статическое электричество. [2]

Актуальность проблемы коррозии обусловлена существенной разницей между экспоненциальным ростом потерь, вызванных коррозионными процессами, и наращиванием объемов производства металла [3, 4]. Только в Российской Федерации ежегодно коррозионное разрушение нефтепромышленных трубопроводов приводит к замене огромного количества стали – от 400 до 500 тысяч тонн. Это соответствует 7–8 тысячам километров трубопроводных сетей. Подобные масштабы потребления ресурсов указывают на острую необходимость в совершенствовании стратегий борьбы с коррозией и необходимость поиска эффективных решений для её предотвращения и контроля.

Методы борьбы с коррозией. На данный момент известно огромное количество методов борьбы с коррозией, применяемых на магистральных трубопроводах. Среди наиболее распространенных и изученных можно выделить [5]:

1. Применение защитных покрытий.

Внешняя и внутренняя поверхность труб покрывается специальными материалами, которые препятствуют контакту металла с агрессивной средой. Такие покрытия могут быть полимерными, битумными, композитными или даже комбинированными.

2. Катодная и анодная защита.

Катодная защита работает за счёт подачи отрицательного электрического потенциала на трубопровод, что препятствует окислению металла. Анодная защита, напротив, применяется в редких случаях и предполагает создание на металле защитной плёнки за счёт искусственной пассивации.

3. Использование специальных материалов.

Производство труб из нержавеющей стали, либо добавление легирующих элементов, таких как хром, никель или титан, может существенно снизить коррозионную активность металла.

4. Контроль транспортируемой среды.

Для снижения уровня коррозии в магистральных трубопроводах применяются методы обработки самой среды. Это может быть удаление кислорода, нейтрализация кислотности, а также введение специальных химических добавок для стабилизации среды.

5. Использование ингибиторов коррозии.

Введение в транспортируемую среду различных соединений, позволяющих существенно замедлить коррозионные процессы. Эти соединения взаимодействуют с поверхностью металла трубопровода, создавая тонкий, но устойчивый адсорбционный слой.

Несмотря на разнообразие существующих методов, ингибиторная защита остаётся одним из лучших и наиболее универсальных вариантов защиты от коррозии, поскольку они отличаются:

- простотой эксплуатации;
- небольшой стоимостью, в сравнении с другими методами;
- универсальностью.

Тем не менее, создание и внедрение новых ингибиторов с высокой эффективностью и экологической безопасностью продолжают оставаться важными задачами, которые требуют учета технологических характеристик производственных процессов. [6]

Влияние кавитации на скорость коррозии при ингибиторной защите.

С целью повышения эффективности защиты коррозионного ингибитора были выполнены исследования с применением кавитационно-вихревого воздействия.

Кавитация представляет собой физическое явление, при котором в жидкости образуются микроскопические пустоты или пузырьки, заполненные газом, паром или их сочетаниями. Это происходит вследствие возникновения локальных областей пониженного давления в среде. В зависимости от условий, приводящих к формированию таких пустот, выделяют несколько типов кавитации:

- Гидродинамическая кавитация – развивается при резком повышении скорости потока жидкости, что приводит к снижению давления и образованию пузырьков в участках с высокой динамической активностью.
- Акустическая кавитация – возникает под воздействием интенсивных звуковых волн, когда фаза разрежения создает необходимые условия для формирования пустот.

Получившиеся кавитационные пузырьки, устремляясь в зону повышенного давления, быстро схлопываются, высвобождая значительное количество энергии в виде ударных волн. Этот процесс особенно ярко проявляется в местах, где происходит переход от ламинарного течения к турбулентному, например, в зонах срывов потока на острых углах или кромках.

Несмотря на то, что сам по себе процесс кавитации может вызывать негативные последствия, такие как эрозия материалов или повреждение оборудования, его уникальные свойства нашли широкое применение в различных отраслях промышленности. Так, эффект схлопывания пузырьков используется для:

- гомогенизации и эмульгирования жидких смесей;
- интенсификации химических реакций за счёт повышения скорости массопереноса и локального увеличения температуры;
- стерилизации жидких сред;
- физического измельчения твёрдых частиц до микроскопических размеров в суспензиях. [7]

Метод исследования

Исследования по определению степени защитных свойств ингибитора на основе полиакрилата натрия проводились гравиметрическим методом. Суть данного метода заключается в определении потери массы испытуемых образцов, находящихся в ингибируемой и неингибируемой агрессивных средах. В качестве испытуемых образцов использовались металлические пластины марки Сталь 3, испытуемой средой выступала пластовая вода, изготовленная по ГОСТ 9.506-87¹ в объеме 200 мл для каждого образца.

Скорость коррозии (V_k) в $г/м^2 \cdot ч$ вычисляли по формуле:

$$V_k = \frac{M_1 - M_2}{S \cdot t} \quad (1)$$

где: M_1 – масса образца до испытания, г; M_2 – масса образца после испытания, г; S – площадь поверхности образца, $м^2$; t – время испытания, ч.

Степень защиты ингибиторов коррозии вычисляли по формуле:

$$Z = \frac{V_{k0} - V_{ki}}{V_{k0}} \quad (2)$$

¹ ГОСТ 9.506-87 Ингибиторы коррозии металлов в водно-нефтяных средах. Методы определения защитной способности. М: Госстандарт СССР, 1987.

где: $V_{ко}$ – скорость коррозии образцов в не ингибированной среде, $г/м^2 \cdot ч$; $V_{ки}$ – скорость коррозии образцов в ингибированной среде, $г/м^2 \cdot ч$.

В роли ингибитора применялся состав, базирующийся на полиакрилате натрия со среднемассовой молекулярной массой (M_w) ≤ 20000 , который синтезировался посредством радикальной полимеризации. Эта методика подробно описана в исследованиях [8, 9] и дополнена в соответствии с подходами, представленными в работе [10].

Перед проведением испытаний производилась подготовка металлических пластин. Методика, по которой подготавливались пластины, подробно описана в ГОСТ 9.506-87.

Проведение испытания.

Для проведения экспериментов использовался 17%-ный раствор ингибитора коррозии на основе полиакрилата натрия, который предварительно подвергался обработке с помощью аппарата кавитационно-вихревого воздействия. В дальнейшем нужное количество этого раствора добавляли непосредственно в агрессивную испытываемую среду, после чего заранее подготовленные металлические пластины помещали в неё на интервал 6 часов.

Параллельно с этим проводилось периодическое кавитационное воздействие на агрессивную среду, содержащую ингибитор, с интервалом 15, 30 и 45 минут, выполняемое четырёхкратно в течение всего периода испытания. По окончании эксперимента образцы подвергались детальному визуальному анализу.

Результаты исследования и их обсуждение

Для определения массы потерянного материала с поверхности образцов применялась следующая последовательность мероприятий: первоначально с помощью специального ластика удаляли коррозионный слой, после чего образцы последовательно промывали сначала под проточной, а затем в дистиллированной воде. Затем поверхности высушивали фильтровальной бумагой, обезжиривали с использованием ацетона, упаковывали в фильтровальную бумагу и выдерживали в эксикаторе с влагопоглотителем на протяжении одного часа. Завершающим этапом являлось точное взвешивание на аналитических весах с высокой точностью.

Результаты эксперимента приведены в табл. 1 и на рис. 1.

Таблица 1. Результаты испытаний ингибитора коррозии на основе полиакрилата натрия с воздействием ультразвука и без

Условия испытания	Эффективность 17 %-го раствора ингибитора на основе полиакрилата натрия 50мг/л
Без ультразвука	89%
С ультразвуком через 15 минут 4 раза	91 %
С ультразвуком через 30 минут 4 раза	77 %
С ультразвуком через 45 минут 4 раза	64 %

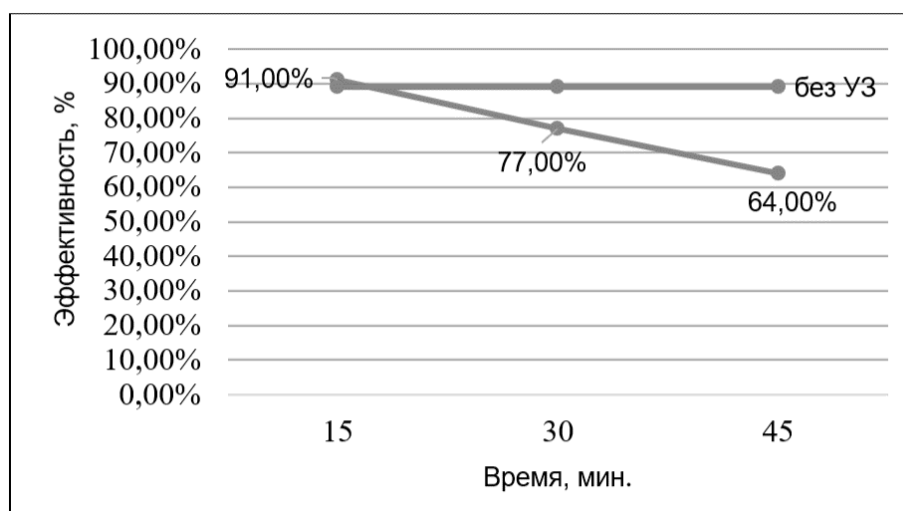


Рис. 1. Сравнительный график, показывающий динамику эффективности ингибитора коррозии на основе полиакрилата натрия в зависимости от времени для случаев с генератором кавитации и без

Из рис. 1 видно, что эффективность демонстрируемого ингибитора коррозии под воздействием кавитационно-вихревого диспергатора снижается. Это связано с тем, что при ультразвуковом воздействии молекулы ингибитора коррозии не адсорбируются на поверхности металла и не способны образовать защитную пленку. Так из высокоэффективного ингибитора коррозии он становится средне- и низкоэффективным.

Также для сравнительного анализа аналогичный эксперимент был проведен с промышленным ингибитором ВИКОР, условия проведения опыта были полностью аналогичны предыдущему, концентрации остались неизменными.

Ингибитор ВИКОР предназначен для защиты металлических поверхностей от коррозии, особенно в агрессивных средах (кислоты, щелочи, растворы солей).

Принцип действия основан на создании защитного слоя на металле, который препятствует контакту агрессивных веществ с поверхностью. Этот слой может быть адсорбционным (молекулы ингибитора прикрепляются к металлу) или пассивирующим (образуется в результате реакции с компонентами среды), что замедляет электрохимические процессы коррозии.

Результаты эксперимента приведены на табл. 2 и рис. 2.

Таблица 2. Результаты испытаний ингибитора коррозии ВИКОР с воздействием ультразвука и без

Условия испытания	Эффективность 1 %-го раствора ингибитора на основе полиакрилата натрия 50мг/л
Без ультразвука	92,5 %
С ультразвуком через 15 минут 4 раза	70,5 %
С ультразвуком через 30 минут 4 раза	77,6 %
С ультразвуком через 45 минут 4 раза	79,3 %

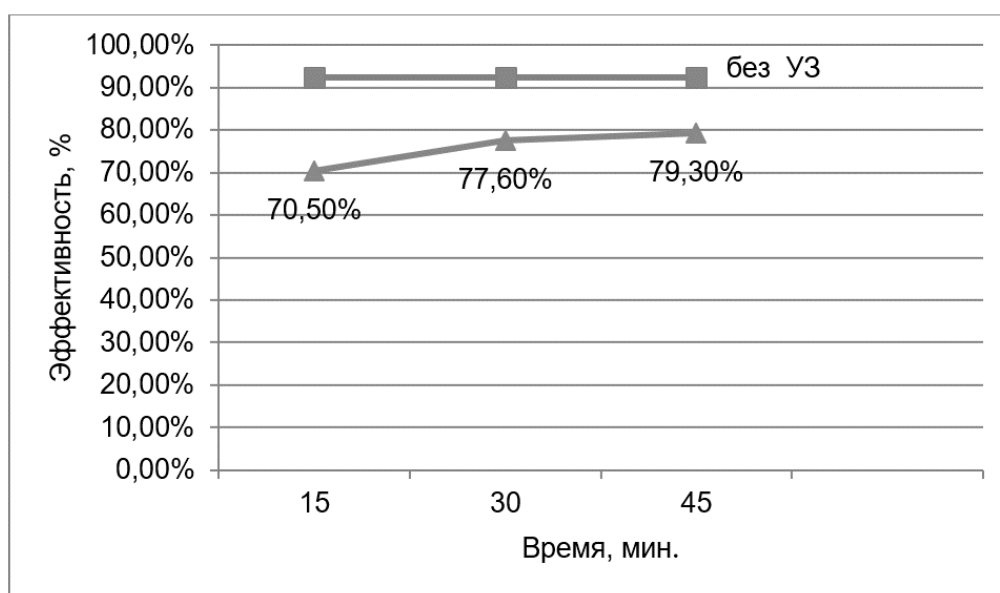


Рис. 2. Сравнительный график, показывающий динамику эффективности ингибитора коррозии ВИКОР в зависимости от времени для случаев с генератором кавитации и без

Ингибитор коррозии по своим защитным характеристикам является высокоэффективным, а после кавитационно-вихревого воздействия становится низкоэффективным, что подтверждает негативное воздействие кавитации, которая приводит к разрушению химических связей и защитной пленки, служащей преградой для коррозионного воздействия между

транспортируемыми углеводородами и материалом трубопроводов [1]

Заключение

Проведенное исследование подтвердило критическую значимость проблемы коррозии на магистральных трубопроводах, используемых для транспортировки нефти, газа и

воды. Использование гравиметрического метода позволило объективно оценить защитные свойства ингибиторов коррозии на основе полиакрилата натрия и промышленного состава ВИКОР. Экспериментально установлено, что использование кавитационно-вихревого диспергатора оказывает значительное влияние на свойства ингибиторов коррозии, приводя к разрушению их химических связей. В результате этого эффективность ингибиторов коррозии снижается. Так эффективность ингибитора коррозии на основе полиакрилата натрия снижается с 89 % до 64–75 %, а ингибитора коррозии ВИКОР снижается до 70–80 %.

Полученные результаты свидетельствуют о том, что эффективность ингибиторных составов может варьироваться в зависимости

от прикладных условий, таких как интенсивность ультразвукового воздействия. Это, в свою очередь, влияет не только на долговечность трубопроводных систем, но и на пожарную безопасность объектов, поскольку поврежденные участки трубопроводов повышают риск разлива горючих материалов и возникновения пожаров.

Полученные данные подчеркивают необходимость дальнейших исследований и оптимизации составов ингибиторов с учетом эксплуатационных особенностей и воздействия внешних факторов. Повышение надежности методов ингибиторной защиты способно обеспечить снижение экономических потерь, улучшение экологической ситуации, а также повышение уровня пожарной безопасности в сфере транспортировки углеводородов.

Список литературы

1. Исследование влияния кавитационно-вихревых воздействий на степень защиты ингибиторов коррозии / И. Ф. Хафизов, О. Д. Халикова, А. С. Килинбаева [и др.] // Известия высших учебных заведений. Нефть и газ. 2015. № 4 (112). С. 102–105. DOI: 10.31660/0445-0108-2015-4-102-105.

2. Ибрагимов Н. Г., Хафизов А. Р., Шайдаков В. В. Осложнения в нефтедобыче: монография. Уфа, 2003. 302 с.

3. Energy Coupling to Nitrite Respiration in the Sulfate-Reducing Bacterium *Desulfovibrio Gigas* / L. L. Barton, J. Le Gall, J. M. Odom [et al.]. *Journal of Bacteriology*, 1983, vol. 2 (123), pp. 867–871. DOI: 10.1128/jb.153.2.867-871. 1983.

4. The Effect of Microstructure on Microbiologically Influenced Corrosion / D. Walsh, D. Pope, M. Danford [et al.]. *JOM*, 1993, vol. 45, pp. 22–30. DOI: 10.1007/BF03222429.

5. Серебряков А. Н. Коррозия нефтепромышленного оборудования и мероприятия противокоррозионной защите на нефтяном месторождении Каракудук (Западный Казахстан) // Вестник Российского университета дружбы народов. 2017. Т. 18, № 2. С. 174–181.

6. Решетников С. М. Ингибиторы кислотной коррозии металлов. Л.: Химия, 1986. 144 с.

7. Применение кавитационно-вихревого эффекта в аппарате абсорбции сернистых соединений из нефти / Ф. Ш. Хафизов [и др.] // Известия вузов. Нефть и газ. 2012. № 4. С. 74–78.

8. Гришин Д. Ф., Гришин И. Д. Современные методы контролируемой радикальной полимеризации для получения новых материалов с заданными свойствами. Электронное учебное пособие. Нижний Новгород: Нижегородский госуниверситет, 2010. 48 с.

9. Georges V., Kazmeier H. Free Radical Polymerization. *Macromolecules*, 1993. vol. 26. p. 5316.

10. Композиции на основе акрилатных сополимеров и фуллеренов / М. В. Успенская, Н. В. Сиротинкин, В. А. Горский [и др.] // Журнал прикладной химии. 2006. Т. 79. № 5. С. 870–872.

References

1. Issledovanie vliyaniya kavitatsionno-vikhrevykh vozddeystviy na stepen zashchity ingibitorov korrozii [Investigation of the Influence of Cavitation-Vortex Effects on the Degree of Protection of Corrosion Inhibitors] / I. F. Khafizov, O. D. Khalikova, A. S. Kilinbaeva [et al.]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Neft' i gaz*, 2015. vol. 4(112), pp. 102–105. DOI 10.31660/0445-0108-2015-4-102-105.

2. Ibragimov N. G., Khafizov A. R., Shaidakov V. V. *Oslozhneniya v nefte dobyche: monografiya* [Complications in Oil Production: Monograph]. Ufa, 2003, 302 p.

3. Energy Coupling to Nitrite Respiration in the Sulfate-Reducing Bacterium *Desulfovibrio Gigas* / L. L. Barton, J. Le Gall, J. M. Odom [et al.]. *Journal of Bacteriology*, 1983, vol. 2 (123), pp. 867–871. DOI: 10.1128/jb.153.2.867-871. 1983.

4. The Effect of Microstructure on Microbiologically Influenced Corrosion / D. Walsh, D. Pope, M. Danford [et al.]. *JOM*, 1993, vol. 45, pp. 22–30. DOI: 10.1007/BF03222429.

5. Serebryakov A. N. Korroziya neftepromyslovogo oborudovaniya i meropriyatiya protivokorroziionnoy zashchity na neftyannom mestorozhdenii Karakuduk (Zapadnyy Kazakhstan) [Corrosion of Oil Production Equipment and Anti-Corrosion Protection Measures at the Karakuduk Oil Field (Western Kazakhstan)]. *Vestnik Rossiyskogo Universiteta Druzhby Narodov*, 2017, vol. 18, issue 2, pp. 174–181.

6. Reshetnikov S. M. Inhibitory kislотноy korrozii metallov [Inhibitors of Acid Corrosion of Metals]. *Leningrad: Khimiya*, 1986, 144 p.

7. Primeneniye kavitatsionno-vikhrevogo effekta v apparate absorptsii sernistykh soedineniy iz nefti [Application of the Cavitation-Vortex Effect in the Absorption Apparatus for Sulfur Compounds from Oil]. F. S. Khafizov [et al.]. *Izvestiya vuzov. Neft' i gaz*, 2012, issue 4, pp. 74–78.

8. Grishin D. F., Grishin I. D. *Sovremennye metody kontroliruemoy radikal'noy polymerizatsii dlya polucheniya novykh materialov s zadannymi svoystvami. Elektronnoe uchebnoe posobie*

[Modern methods of controlled radical polymerisation for obtaining new materials with specified properties. Electronic textbook]. Nizhniy Novgorod: Nizhegorodskiy gosuniversitet, 2010, 48 p.

9. Georges V., Kazmeier H. Free Radical Polymerization. *Macromolecules*, 1993, vol. 26, p. 5316.

10. Kompozitsii na osnove akrilatnykh sopolimerov i fullerenev [Compositions based on acrylate copolymers and fullerenes] / M. V. Uspenskaya, N. V. Sirotinkin, V. A. Gorskii [et al.]. *Zhurnal prikladnoi khimii*, 2006, vol. 79, issue 5, pp. 870–872.

Хафизов Ильдар Фанилевич

Уфимский государственный нефтяной технический университет,
Российская Федерация, г. Уфа

доктор технических наук, профессор

e-mail: ildar.hafizov@mail.ru

Khafizov Ildar Fanilevich

Federal State Budget Educational Establishment of Higher Education «Ufa State Petroleum Technical University»,

Russian Federation, Ufa

doctor of technical sciences, professor

e-mail: ildar.hafizov@mail.ru

Султанов Рифкат Мухатъярович

Уфимский государственный нефтяной технический университет,
Российская Федерация, г. Уфа

доктор химических наук, профессор

e-mail: sultanov55@mail.ru

Sultanov Rifkat Mukhatyarovich

Federal State Budget Educational Establishment of Higher Education «Ufa State Petroleum Technical University»,

Russian Federation, Ufa

doctor of chemical sciences, professor

e-mail: sultanov55@mail.ru

Бакиров Дамир Робертович,

Уфимский государственный нефтяной технический университет,
Российская Федерация, г. Уфа

аспирант

e-mail: damir.bakirov.99@mail.ru

Bakirov Damir Robertovich

Federal State Budget Educational Establishment of Higher Education «Ufa State Petroleum Technical University»,

Russian Federation, Ufa

postgraduate student

e-mail: damir.bakirov.99@mail.ru

Бакиров Роберт Хамзович

Уфимский государственный нефтяной технический университет,
Российская Федерация, г. Уфа

старший преподаватель

e-mail: bakirov_robert@mail.ru

Bakirov Robert Khamzovich

Federal State Budget Educational Establishment of Higher Education «Ufa State Petroleum Technical University»,
Russian Federation, Ufa
senior lecturer
e-mail: bakirov_robert@mail.ru

Спыну Евгений Андреевич

Уфимский государственный нефтяной технический университет,
Российская Федерация, г. Уфа
аспирант
e-mail: pkpb@mail.ru

Spynu Evgeny Andreevich

Federal State Budget Educational Establishment of Higher Education «Ufa State Petroleum Technical University»,
Russian Federation, Ufa
postgraduate student
e-mail: pkpb@mail.ru

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

УДК 691.316

ИССЛЕДОВАНИЕ КОРРОЗИОННОЙ ДЕСТРУКЦИИ КИРПИЧНЫХ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ ПРИ КОМПЛЕКСНОМ ВОЗДЕЙСТВИИ РАСТВОРОВ СОЛЕЙ И ПОПЕРЕМЕННОГО ЗАМОРАЖИВАНИЯ-ОТТАИВАНИЯ

В. Е. РУМЯНЦЕВА^{1,2}, Ю. Ф. ПАНЧЕНКО³, Д. А. ПАНЧЕНКО³, Б. Е. НАРМАНИЯ⁴, 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 Тюменский индустриальный университет,
Российская Федерация, г. Тюмень

⁴ ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный
строительный университет»
Российская Федерация, г. Москва

E-mail: varrym@gmail.com, panchenkoj@tyuiu.ru, panchenkoda@tyuiu.ru,
borisfablee@gmail.com, frolovatanja@mail.ru

Статья посвящена изучению стойкости силикатного кирпича при комплексном воздействии на него попеременного замораживания-оттаивания и растворов хлоридов натрия и кальция, что имитирует процессы обработки пешеходных зон вблизи лицевой кладки антиобледенителями в зимнее время. Исследования проводились на образцах цилиндрах, изготовленных в лабораторных условиях из заводского состава сырьевой смеси. В качестве агрессивных сред применялись растворы хлоридов натрия и кальция с концентрацией 5 % и 20 %. Замораживание проводилось при температуре -20 °С, оттаивание – в растворах солей. Результаты исследования показали, что динамика разрушения образцов сильно зависит от концентрации растворов. Также раствор хлорида кальция является более агрессивным по отношению к силикатному бетону. Исследования требуют дальнейшего развития на основе более широкого подхода к моделированию условий комплексного воздействия агрессивных сред и масштабированию бетонных образцов.

Ключевые слова: силикатный кирпич, растворы хлоридов натрия и кальция, замораживание-оттаивание, деструкция.

**RESEARCH OF CORROSION DESTRUCTION OF BUILDING BRICKS
UNDER THE COMBINED ACTION OF SALT SOLUTIONS
AND ALTERNATING FREEZING AND THAWING**

**V. E. RUMYANTSEVA^{1,2}, Yu. F. PANCHENKO³, D. A. PANCHENKO³,
B. E. NARMANIA⁴, 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 «Industrial University of Tyumen»,
Russian Federation, Tyumen

⁴ 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, panchenkojf@tyuiu.ru, panchenkoda@tyuiu.ru,
borisfablee@gmail.com, frolovatanja@mail.ru,

The article is devoted to the study of the resistance of lime-sand bricks under the combined effects of alternating freezing and thawing and solutions of sodium and calcium chlorides, simulating the processes of treating pedestrian areas near masonry with anti-icing reagents in winter. The research was carried out on cylinder samples made in the laboratory from the factory composition of the raw material mixture. Solutions of sodium and calcium chlorides with concentrations of 5% and 20% were used as aggressive media. Freezing was carried out at -20 °C, thawing was carried out in salt solutions. The results of the study showed that the dynamics of sample destruction strongly depends on the concentration of solutions. Also, the calcium chloride solution is more aggressive towards lime-sand concrete. The research requires further development based on a broader approach to modeling the conditions of complex exposure to aggressive environments and scaling material samples.

Keywords: lime sand brick, solutions of sodium and calcium chlorides, freezing-thawing, destruction.

Введение

Развитие каркасного домостроения наложило свой отпечаток на силикатную промышленность в виде снижения объемов производства силикатного кирпича. Однако, силикатная промышленность адаптировалась к новым условиям и сделала упор на развитие производства лицевого кирпича, силикатных блоков и перегородочных плит. Начиная с 2017 г. объемы производства силикатных изделий находятся на достаточно стабильном уровне, некоторое снижение наблюдалось в период с 2020 по 2021 год, но оно не превышало 6 % и восстановилось до прежнего уровня к 2022 году [1]. Технология объемного окрашивания силикатного кирпича позволяет получать достаточно широкую цветовую гамму, а стойкость цвета и высокая долговечность современных силикатных изделий в сочетании с неэнергоемкой технологией делает этот материал интересным и перспективным и по сей день.

Долговечность силикатного кирпича при различных видах агрессивного воздействия изучалась нами ранее [2–5], однако в реальных условиях эксплуатации на материал воздействует комплекс факторов, которые могут усиливать или, наоборот, уменьшать интенсивность протекания деструктивных процессов. Одним из самых агрессивных видов воздействий для любого строительного материала, эксплуатируемого в наружных условиях, является попеременное замораживание-оттаивание. В зимнее время лицевая кладка из силикатного кирпича одновременно с замораживанием-оттаиванием может подвергаться воздействию солевых растворов от применения антиобледенителей. Антиобледенители представляют собой хлориды натрия и кальция или их смеси. С одной стороны соли, проникая в структуру силикатного кирпича вследствие капиллярного подсоса, кристаллизуются в порах,

оказывают давление на материал изнутри, что приводит к возникновению дефектности структуры [6], с другой стороны, они снижают температуру замерзания воды [7, 8], что может привести к уменьшению кристаллизационного давления льда при замораживании. Преобладание того или иного эффекта будет зависеть от концентрации солевого раствора. Поэтому целью данного исследования являлась оценка комплексного влияния растворов хлоридов натрия и кальция и попеременного замораживания-оттаивания на силикатный кирпич при различной концентрации растворов.

Материалы и методы исследований

Замораживанию-оттаиванию подвергались образцы силикатного бетона в виде цилиндров диаметром 3 см, высотой $3 \pm 0,1$ см, изготовленные из известково-песчаной смеси одного из предприятий по производству силикатного кирпича г Тюмени. Активность смеси по CaO составляла 9,5 %, давление прессования 100 кН, автоклавная обработка проводилась по режиму: 1,5 часа подъем давления до 0,9 МПа, 8 часов выдержка при максимальном давлении, 1,2 часа спуск давления. Серии образцов предварительно насыщались в течение 2 суток в воде и растворах солей 5 % и 20 % концентрации, после чего подвергались попеременному замораживанию при температуре -20 °C и последующему оттаиванию в тех же средах. Контроль динамики развития деструктивных процессов осуществлялся по трем показателям: внешний вид, потеря массы, потеря прочности при сжатии.

Результаты исследований

В качестве критериев морозостойкости силикатного кирпича согласно ГОСТ 379-2015 «Кирпич, камни, блоки и плиты перегородочные

силикатные» выступают: потеря прочности 20 %, потеря массы 10 % и отсутствие признаков видимых повреждений (шелушение, расслоение, выкрашивание и др.). Проведенные ранее исследования [5] показывают, что критерий потери прочности не является определяющим фактором, так как морозная деструкция идет при одновременном протекании процесса карбонизации, который сопровождается уплотнением структуры силикатного бетона и увеличением прочности. Кроме того, кристаллизация солей в порах бетона при воздействии на него солевых растворов, также приводит к некоторому уплотнению и упрочнению структуры на первоначальном этапе [9, 10]. Это подтверждается результатами нашего эксперимента: после первых четырех циклов замораживания-оттаивания прочность при сжатии силикатного бетона в 5 % растворах солей увеличилась на 14 %, а в 20 % растворах – на 29 %, и снизилась до первоначального уровня после 8 циклов замораживания-оттаивания в растворах 5 % концентрации и 12 циклов – в растворах 20 % концентрации, при том что к этому моменту значительная часть образцов уже имела серьезные повреждения внешнего вида. Тоже самое можно сказать о потере массы, процесс карбонизации сопровождается увеличением объема твердой фазы, а, следовательно, и увеличением массы бетона. Еще быстрее чем процесс карбонизации, происходит диффузия хлорид-ионов в структуру бетона [11], что также сопровождается увеличением массы. Потеря массы образцов возможна только после того, как начнут появляться значительные дефекты структуры. Этот критерий и выбран в качестве определяющего при оценке морозостойкости силикатного бетона в присутствии солевых растворов.

В результате исследований установлено, что на характер развития деструктивных процессов значительное влияние оказывает исходная концентрация солевого раствора. При концентрации растворов солей 5 % отмечено некоторое ускорение процесса разрушения, тогда как при концентрации солевых растворов 20 % этот процесс, наоборот, значительно замедляется. Визуально появление первых дефектов на образцах, насыщенных в воде отмечено после 8 циклов замораживания-оттаивания, в растворах солей – после 6 циклов. Однако, количество образцов с дефектами (таблица) и степень их разрушения (рисунок) сильно варьировалось в зависимости от среды насыщения, что отражено в таблице.

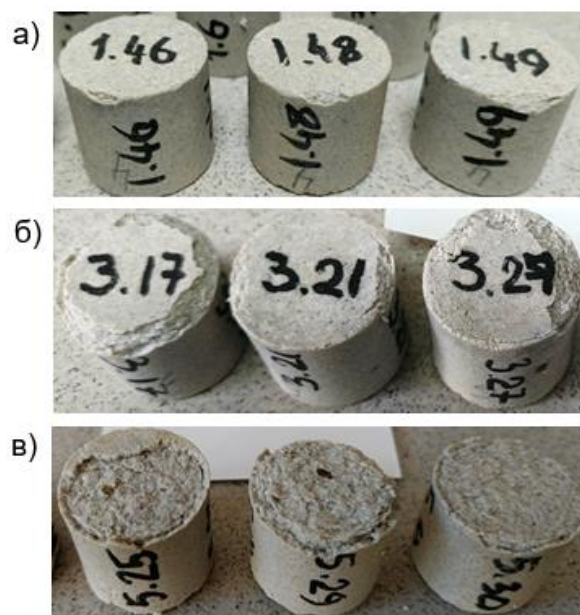


Рисунок. Степень разрушения образцов
а) незначительное; б) значительное;
в) критическое

Таблица. Динамика разрушения образцов силикатного бетона

Среда насыщения	Степень разрушения	Количество образцов с дефектами в зависимости от циклов замораживания-оттаивания, %				
		6	8	10	12	14
вода	незначительное	0	13	6	17	27
	значительное	0	27	33	50	47
	критическое	0	0	7	10	13
	всего	0	40	60	77	87
5 % NaCl	незначительное	13	52	32	19	11
	значительное	2	10	46	70	67
	критическое	0	0	0	0	14
	всего	15	62	78	89	92

Среда насыщения	Степень разрушения	Количество образцов с дефектами в зависимости от циклов замораживания-оттаивания, %				
		6	8	10	12	14
5 % CaCl ₂	незначительное	11	27	7	5	5
	значительное	49	69	80	73	59
	критическое	0	0	13	22	36
	всего	60	96	100	100	100
20 % NaCl	незначительное	2	2	2	2	2
	значительное	2	2	2	2	2
	критическое	0	0	0	0	0
	всего	4	4	4	4	4
20 % CaCl ₂	незначительное	2	2	2	2	2
	значительное	0	0	0	0	0
	критическое	0	0	0	0	0
	всего	2	2	2	2	2

Анализ данных таблицы позволяет сделать вывод о том, что раствор кальция хлористого является более агрессивным по отношению к силикатному бетону по сравнению с раствором хлорида натрия. Уже после 10 циклов попеременного замораживания-оттаивания в растворе CaCl₂ 100 % образцов имели дефекты внешнего вида, при том, что доля образцов, имевших значительные или критические повреждения, была значительно больше, чем после воздействия раствора NaCl или воды. Высокая стойкость образцов против морозной деструкции при насыщении в растворах 20 % концентрации объясняется тем, что жидкая фаза просто не замерзает при -20 °C [12], которая определена нормативным документом на метод определения морозостойкости. Однако, в реальных условиях эксплуатации температура наружного воздуха в зимний период времени может быть значительно ниже, да и при наступлении летнего периода процессы увлажнения-высушивания насыщенного солями бетона будут провоцировать его дальнейшее разрушение. Также следует учитывать не только усиление морозной деструкции в присутствии солей хлора, но и тот факт, что регулярное воздействие антиобледенителей на силикатный бетон в течение зимнего периода увеличивает количество циклов замораживания-оттаивания за сезон. В связи с этим можно сказать, что результаты, полученные в данном эксперименте, не так однозначны и требуют дополнительных исследований с постановкой комбинированного воздействия, основанного на чередовании периодов замораживания-оттаивания с периодами увлажнения-высушивания образцов бетона.

Также следует отметить, что силикатный бетон, полученный в лабораторных условиях не идентичен силикатному бетону, полученному в результате формования кирпича в заводских условиях, а условия насыщения и замораживания образцов небольшого формата не идентичны условиям замораживания кирпича в конструкции [13]. В реальных условиях кирпич не погружается полностью в агрессивный раствор, глубина насыщения ограничивается капиллярной проводимостью, замораживание и оттаивание также происходит более плавно, а главное в большом объеме по-другому распределяются возникающие внутренние растягивающие напряжения. Таким образом условия испытания в данном эксперименте можно считать наиболее жесткими, и они не могут быть без некоторой корректировки перенесены на реальный силикатный кирпич. Однако, они могут быть основой для сравнительного анализа влияния условий агрессивного воздействия на силикатный бетон.

Заключение

1. При попеременном замораживании-оттаивании силикатного бетона, дополнительное воздействие растворов хлоридов натрия и кальция 5 % концентрации ускоряет процесс развития деструктивных процессов, а 20 % концентрации, наоборот, значительно замедляет, вследствие снижения температуры замерзания жидкой фазы.

2. Раствор хлорида кальция является более агрессивным по отношению к силикатному бетону, по сравнению с раствором хлорида натрия.

3. Роль солевых растворов в морозной деструкции должна быть рассмотрена в

контексте чередования периодов замораживания-оттаивания и увлажнения-высушивания для оценки роли кристаллизации солей в поровом пространстве бетона на процесс его

разрушения при замораживании и размораживании, что более соответствует реальным условиям эксплуатации кладки из силикатного кирпича.

Список литературы

1. Российский рынок силикатных стеновых материалов: 2017 – 6 месяцев 2022 г. и прогноз на 2022–2023 гг. М.: ООО «ГС-ЭКСПЕРТ». 2022. 61 с.
2. Черепанов В. И. Водостойкость силикатного кирпича // Строительные материалы. 2013. № 9. С. 10–11.
3. Панченко Ю. Ф. Влияние длительного хранения силикатного кирпича в воде на его прочность // Строительные материалы. 2020. № 11. С. 24–29.
4. Панченко Ю. Ф. Поведение силикатного кирпича при длительном контакте с грунтом // Строительные материалы. 2024. № 7. С. 60–64.
5. Морозостойкость силикатного кирпича / Ю. Ф. Панченко, Д. А. Панченко, В. С. Орлов [и др.] // Строительные материалы. 2024. № 5. С. 36–41.
6. Федосов С. В., Базанов С. М. Сульфатная коррозия бетона. М.: АСВ, 2003. 191 с.
7. Добшиц Л. М., Николаева А. А. Противоморозные добавки для бетонов транспортных искусственных сооружений // ALITinform: Цемент. Бетон. Сухие смеси. 2019. № 3 (56). С. 34–40.
8. Повышение эффективности действия противоморозных добавок в технологии бетона / О. В. Тараканов, Т. К. Акчурин, И. В. Ерофеева [и др.] // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2022. № 4 (89). С. 114–129.
9. Коррозия бетона и железобетона, методы их защиты / В. М. Москвин, Ф. М. Иванов, С. Н. Алексеев [и др.]. М.: Стройиздат, 1980. 536 с.
10. Кольматация: явление, теория, перспективы применения для управления процессами коррозии бетонов / С. В. Федосов, В. Е. Румянцева, В. С. Коновалова [и др.] // Строительные материалы. 2017. № 10. С. 10–17.
11. Совместное действие карбонизации и хлоридной агрессии на конструкционный бетон: вероятностная модель / Е. Е. Шалый, С. Н. Леонович, Л. В. Ким [и др.] // Вестник гражданских инженеров. 2018. № 3 (68). С. 123–131.
12. Пучков Ю. М. Деструкция кирпичных кладок и их защита от солевой коррозии // Региональная архитектура и строительство. 2020. № 2 (43). С. 56–62.

13. Чернышов Е. М. Морозная деструкция бетонов часть 1. Механизм, критериальные условия управления // Строительные материалы. 2017. № 9. С. 40–46.

References

1. Rossijskij rynek silikatnyh stenovykh materialov: 2017 – 6 mesjacev 2022 g. i prognoz na 2022-2023 gg. [Russian silicate wall materials market: 2017 – 6 months 2022 and forecast for 2022-2023] Moscow: ООО "GS-EKSPERT". 2022. 61 p.
2. Cherepanov V. I. Vodostojkost' silikatnogo kirpicha [Water resistance of lime-sand brick]. *Stroitel'nye materialy*, 2013, issue 9, pp. 10–11.
3. Panchenko Ju. F. Vlijanie dlitel'nogo hranenija silikatnogo kirpicha v vode na ego prochnost' [Effect of Long-Term Storage of Silicate Brick in Water on Its Strength]. *Stroitel'nye materialy*, 2020, issue 11, pp. 24–29.
4. Panchenko Ju. F. Povedenie silikatnogo kirpicha pri dlitel'nom kontakte s gruntom [Behavior of Silicate Bricks During Prolonged Contact with the Ground]. *Stroitel'nye materialy*, 2024, issue 7, pp. 60–64.
5. Morozostojkost' silikatnogo kirpicha [Frost Resistance of Silicate Bricks] / Ju. F. Panchenko, D. A. Panchenko, V. S. Orlov [et al.]. *Stroitel'nye materialy*, 2024, issue 5, pp. 36–41.
6. Fedosov S. V., Bazanov S. M. *Sul'fatnaja korrozija betona* [Sulfate corrosion of concrete]. Moscow: ASV, 2003. 191 p.
7. Dobshic L. M., Nikolaeva A. A. *Proti-vomoroznye dobavki dlja betonov transportnyh iskusstvennyh sooruzhenij* [Anti-Freeze Additives for Concrete Transport Structures]. *ALITinform: Cement. Beton. Suhie smesi*, 2019, issue 3 (56), pp. 34–40.
8. Povyshenie jeffektivnosti dejstvija protivomoroznyh dobavok v tehnologii betona [Improving the Effectiveness of Antifreeze Additives in Concrete Technology] / O. V. Tarakanov, T. K. Akchurin, I. V. Erofeeva [et al.]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitektarno-stroitel'nogo universiteta. Serija: Stroitel'stvo i arhitektura*, 2022, vol. 4 (89), pp. 114–129.
9. *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.
10. Kol'matacija: javlenie, teoriija, perspektivy primenenija dlja upravlenija processami

korrozii betonov [Colmatation: Phenomenon, Theory, Prospects of Using for Control over Concrete Corrosion Processes] / S. V. Fedosov, V. E. Rumjanceva, V. S. Konovalova [et al.]. *Stroitel'nye materialy*, 2017, issue 10, pp. 10–17.

11. Sovmestnoe dejstvie karbonizacii i hlorldnoj agressii na konstrukcionnyj beton: verojatnostnaja model' [Probabilistic Model of the Combined Effect of Carbonization and Chloride Aggression on Structural Concrete] / E. E. Shalyj, S. N. Leonovich, L. V. Kim [et al.]. *Vestnik grazhdanskij inzhenerov*, 2018, vol. 3 (68), pp. 123–131.

12. Puchkov Ju. M. Destrukcija kirpichnyh kladok i ih zashhita ot solevoj korrozii [Destruction of Brick-Walls and Their Protection Against Salt Corrosion]. *Regional'naja arhitektura i stroitel'stvo*, 2020, vol. 2 (43), pp. 56–62.

13. Chernyshov E. M. Moroznaja destrukcija betonov chast' 1. Mehanizm, kriterial'nye uslovija upravlenija [Frost Destruction of Concretes. Part 1. Mechanism, Criterial Conditions of Control]. *Stroitel'nye materialy*. 2017, issue 9, pp. 40–46.

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 Юлия Федоровна

ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет»,

Российская Федерация, г. Тюмень

кандидат технических наук, доцент кафедры строительных материалов

E-mail: panchenkojf@tyuiu.ru

Panchenko Iuliia Fyodorovna

Tyumen Industrial University

Russian Federation, Tyumen

candidate of technical sciences, docent of the Construction Materials Department

E-mail: panchenkojf@tyuiu.ru

Панченко Дмитрий Алексеевич

ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет»

Российская Федерация, г. Тюмень

кандидат технических наук, доцент кафедры строительных материалов

E-mail: panchenkoda@tyuiu.ru

Panchenko Dmitrii Alekseevich

Tyumen Industrial University

Russian Federation, Tyumen

candidate of technical sciences, docent of the Construction Materials Department

E-mail: panchenkoda@tyuiu.ru

Нармания Борис Евгеньевич

ФГБОУ ВО Национальный исследовательский Московский государственный
строительный университет,
Российская Федерация, г. Москва
аспирант

E-mail: borisfablee@gmail.com

Narmania 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

E-mail: frolovatanja@mail.ru

Frolova Tatiana 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 science

E-mail: frolovatanja@mail.ru

УДК 691.554:66.018.8

СУХАЯ ШТУКАТУРНАЯ СМЕСЬ НА ОСНОВЕ ВОЗДУШНОЙ ИЗВЕСТИ

В. Е. РУМЯНЦЕВА^{1,2}, Д. А. ПАНЧЕНКО³, Ю. Ф. ПАНЧЕНКО³, Т. В. ФРОЛОВА¹, Д. А. СМИРНОВ⁴

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

⁴ ООО «Инжпроджект»,
Российская Федерация, г. Иваново

E-mail: varrym@gmail.com, panchenkoda@tyuiu.ru, panchenkojf@tyuiu.ru,
frolovatanja@mail.ru, smirnov.demon@mail.ru

Статья посвящена разработке состава сухой штукатурной смеси на основе воздушной извести с улучшенными эксплуатационными характеристиками, что достигается за счет увеличения дисперсности $\text{Ca}(\text{OH})_2$. В работе предложено осуществлять совместное гашение воздушной извести в смеси с песком в закрытых емкостях, препятствующих свободному удалению пара, за счет чего достигается размер частиц $\text{Ca}(\text{OH})_2$ менее 8 мкм. Это способствует увеличению прочности затвердевшего штукатурного раствора в 2,5 раза по сравнению с раствором на основе извести-пушонки, имеющей размер частиц $\text{Ca}(\text{OH})_2$ от 2 до 100 мкм. Увеличение прочности объясняется формированием более равномерной мелкокристаллической структуры кальцита при карбонизации извести.

Ключевые слова: воздушная известь, штукатурный раствор, дисперсность, прочность при сжатии, структура.

DRY PLASTER MIX BASED ON AIR LIME

V. E. RUMYANTSEVA^{1,2}, D. A. PANCHENKO³, Yu. F. PANCHENKO³, T. V. FROLOVA¹, D. A. SMIRNOV⁴

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

⁴ LLC «Injprodjekt»,
Russian Federation, Ivanovo

E-mail: varrym@gmail.com, panchenkoda@tyuiu.ru, panchenkojf@tyuiu.ru,
frolovatanja@mail.ru, smirnov.demon@mail.ru

The article is dedicated to the development of the composition of a dry plaster mix based on air lime with improved performance characteristics, which is achieved by increasing the dispersion of $\text{Ca}(\text{OH})_2$. In the work, it is proposed to carry out joint hydration of air lime in a mixture with sand in closed silos that prevent the free removal of steam, thereby achieving a particle size of $\text{Ca}(\text{OH})_2$ less than 8 microns. This contributes to an increase in the strength of the hardened plaster by 2.5 times compared with a hydrated lime-based composition having a particle size of $\text{Ca}(\text{OH})_2$ from 2 to 100 microns. The increase in strength is explained by the formation of a more uniform fine-crystalline calcite structure during the carbonation of lime.

Keywords: air lime, plaster, dispersity, compressive strength, structure.

Введение

В современных условиях в качестве критериев при выборе строительных материалов для внутренней отделки помещений на первое место ставится влияние, которое они оказывают на человека [1, 2]. Однако, технологичность, долговечность и стоимость также имеют не маловажное значение, так как определяют комфорт как при производстве работ, так и в процессе эксплуатации. Ни у кого нет желания, выполнять ремонт отделочных покрытий каждые 2–3 года и устранять недостатки, возникающие в процессе эксплуатации.

Современная мировая тенденция в области производства материалов для внутренней отделки помещений, таких как штукатурки, шпатлевки и краски направлена на все более широкое применение материалов на основе воздушной извести, которая представляет собой оксид кальция [3, 4]. В составе сухих строительных смесей (ССС) воздушная известь присутствует в гашеном состоянии в виде гидроксида кальция (гидратной извести). В Германии и Австрии выпускается широкая линейка отделочных материалов на основе воздушной извести, которые позиционируются как материалы для борьбы с аллергией [5]. Это обусловлено их высокой паропроницаемостью [6], т.е. способностью регулировать микроклимат в помещении, что оказывает непосредственное влияние на состояние слизистых оболочек и дыхательных путей человека. Также самыми сильными аллергенами являются споры грибов. Материалы на основе гидроксида кальция обладают высоким водородным показателем, что делает их весьма стойкими к развитию всевозможных грибков и других микроорганизмов [7–10]. В России также есть ряд производителей СССР в номенклатуре которых есть продукты на основе гидроксида кальция, но они в основном предлагаются для восстановления и ремонта памятников архитектуры [11, 12] и производятся только «под заказ». Как материалы зарубежного производства, так и российского, обладают достаточно высокой стоимостью за счет того, что производятся с применением дорогостоящих химических добавок для СССР, поэтому обладают ограниченной доступностью для частных потребителей. Разработка СССР на основе гидроксида кальция с высокими эксплуатационными характеристиками и невысокой стоимостью может быть достигнута путем увеличения степени дисперсности вяжущего, что приведет к увеличению прочности затвердевшего раствора при одновременном снижении расхода вяжущего. Как известно, увеличение дисперсности вяжущего сопровождается улучшением технологических характеристик растворных и бетонных смесей и увеличением прочности затвердевших бетонов и растворов [13].

Основной гипотезой данного исследования является то, что высокая дисперсность частиц гидратной извести способствует формированию более равномерной мелкокристаллической структуры кальцита при твердении раствора за счет карбонизации, что способствует увеличению прочности при сжатии.

Современный способ производства гидратной извести заключается в обработке дробленой до размера частиц не более 3 мм комовой воздушной извести паром в специальных многоступенчатых реакторах – гидраторах. Процесс достаточно энергозатратный, а частицы гидроксида кальция при этом получают достаточно крупные. Известно, что при гашении извести с большим количеством воды, например, в «молоко» или в «тесто», частицы $\text{Ca}(\text{OH})_2$ получаются более мелкие [14, 15]. Однако, для обезвоживания известкового теста потребуется еще большее количество энергии, возникают проблемы с контролем процесса, для того чтобы исключить обратный процесс дегидратации $\text{Ca}(\text{OH})_2$, кроме того, необходим будет последующий помол высушенной массы. Другой способ повышения дисперсности частиц гидратной извести – это гашение в стесненных условиях, например, в смеси с песком в специальных емкостях – силосах. В данном случае потребуется последующая сушка полученной смеси в сушильном барабане.

Целью данной работы являлось исследование влияния способа гашения воздушной извести на размер частиц гидроксида кальция, на прочность при сжатии и структуру затвердевших штукатурных растворов.

Материалы и методы исследований

Для определения прочности при сжатии затвердевших растворов, из штукатурных смесей изготавливались образцы-кубы с размером ребра 7,07 мм в формах без дна. Было приготовлено два состава растворных смесей: на основе песка и гидратной извести, полученной в гидраторе и на основе тонкомолотой извести, гашеной совместно с песком в силосе. Активность смесей по CaO составляла 9,5%. Твердение образцов осуществлялось в воздушно-сухих условиях в течение 28 суток.

Для оценки размера частиц гидроксида кальция в зависимости от способа гашения и исследования структуры затвердевших растворов, применялась растровая электронная микроскопия. Микрофотографии получены с помощью сканирующего микроскопа высокого разрешения TESCAN MIRA3.

Результаты исследований

На рис. 1 представлены микрофотографии гидроксида кальция, полученного путем

гашения в гидраторе, частицы которого преимущественно имеют размер от 4 до 10 мкм, хотя присутствует также большое количество крупных частиц размером 20–100 мкм. Гидроксид кальция, полученный при гашении в силосе,

равномерным слоем покрывает зерна песка (рис. 2). Основная доля гидратной извести представлена частицами размером 1–2 мкм и менее, с отдельными зернами до 8 мкм.

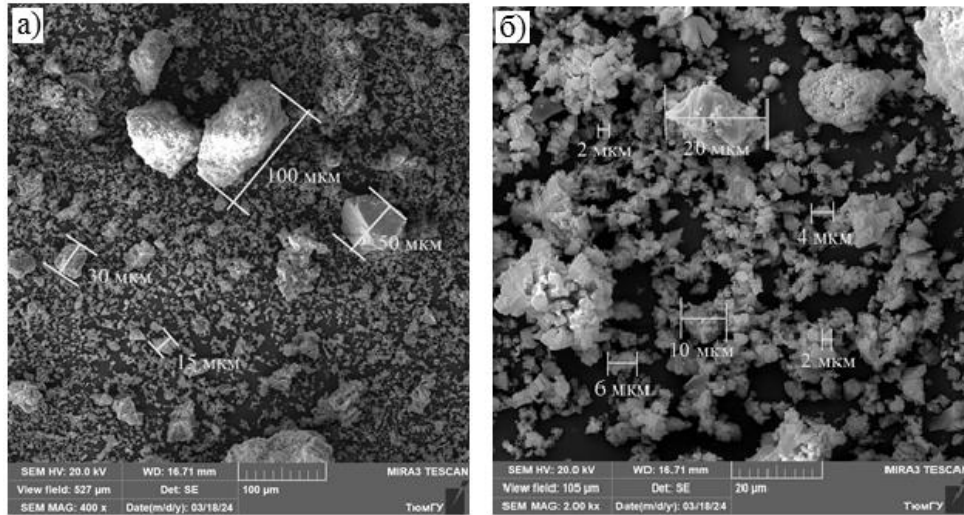


Рис. 1. Микрофотография частиц извести гашеной в гидраторе
а) увеличение в 400 раз; б) увеличение в 2000 раз

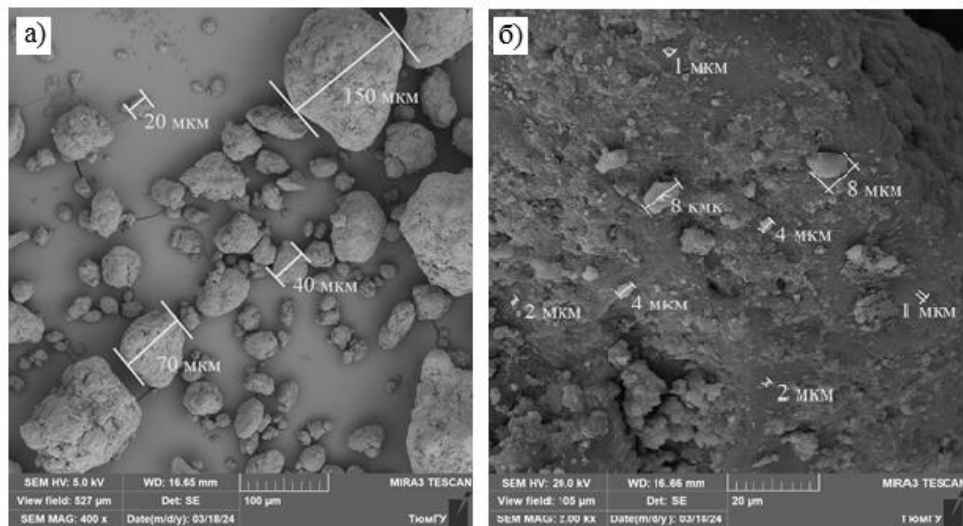


Рис. 2. Зерна песка, покрытые частицами гидроксида кальция,
полученные при гашении извести в силосе
а) увеличение в 400 раз; б) увеличение в 2000 раз

Прочность затвердевшего штукатурного раствора на основе гидроксида кальция, полученного путем гашения в гидраторе, составляла 0,33 МПа, а прочность раствора на основе извести гашеной в силосе с песком – 0,86 МПа [16]. Это, во-первых, объясняется более равномерным распределением частиц гидроксида кальция, полученного путем гашения в силосе в

объеме раствора и получением менее дефектной структуры (рис. 3а и 3б). В растворе на основе гидроксида кальция, полученного путем гашения в гидраторе, присутствует большое количество крупных пор (рис. 3г, и 3д), что негативно сказывается на его прочности.

Во-вторых, при твердении растворов за счет карбонизации гидроксида кальция, рост

кристаллов кальцита происходит с поверхности частиц гидратной извести. Следовательно, чем выше дисперсность частиц гидроксида кальция, тем большее количество кристаллов портландита одновременно будет расти и размер этих кристаллов будет меньше, что реализуется в растворе на основе извести гашеной в силосе

(рис. 3в). Формирование крупнокристаллической структуры кальцита в растворе на основе извести гашеной в гидраторе (рис. 3е) приводит к возникновению более напряженного и дефектного состояния структуры затвердевшего раствора, что выражается в снижении прочности в 2,5 раза.

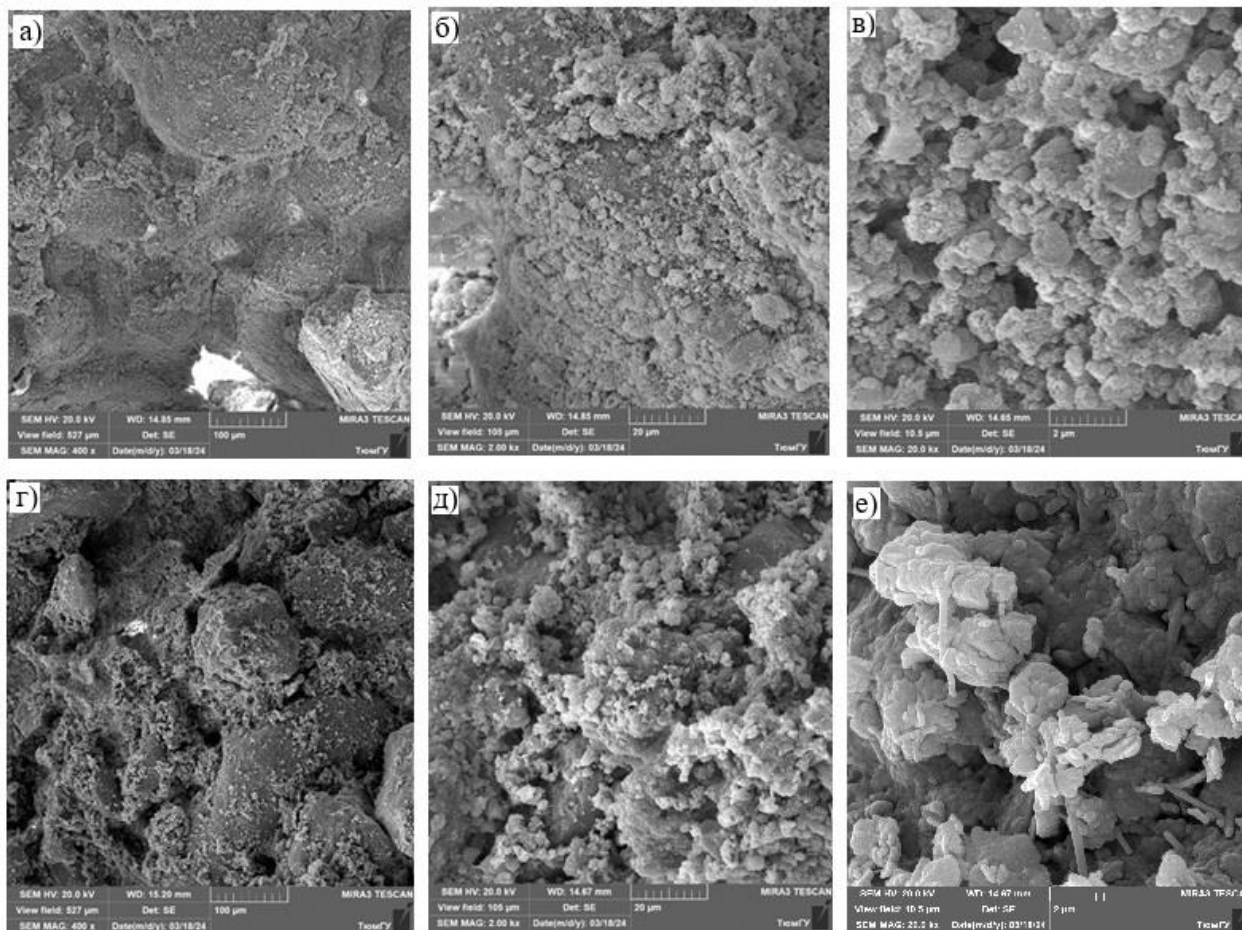


Рис. 3. Структура затвердевших штукатурных растворов
а), б) и в) – на основе гидроксида кальция, полученного в силосе, при увеличении в 400, 2000 и 20000 раз соответственно; г), д) и е) – на основе гидроксида кальция, полученного в гидраторе, при увеличении в 400, 2000 и 20000 раз соответственно;

Закключение

Получение сухой штукатурной смеси на основе воздушной извести с повышенной прочностью при сжатии и невысоким расходом вяжущего достигается путем увеличения

дисперсности гидроксида кальция за счет совместного гашения извести с песком в силосе, что способствует образованию более равномерной мелкокристаллической структуры кальцита при твердении.

Список литературы

1. Зима А. Г. Экологичность отделочных строительных материалов, критерии выбора (с точки зрения воздействия на организм человека) // Заметки ученого. 2020. № 10. С. 253–271.
2. Ручнова В. Р. Влияние современных строительных материалов на экологию жилья // Поколение будущего: Взгляд молодых ученых – 2022: сборник научных статей 11-й Международной молодежной научной конференции. Курск: ЮЗГУ. 2022. С. 520–522.
3. Франке Р. Пригласите природу в ваш дом. Известковая штукатурка для машинного нанесения – МКЕ // Сухие строительные смеси. 2011. № 1. С. 10–11.
4. The influence of inner hydrophobisation on water transport properties of modified lime plasters / M. Pavlíková, Z. Pavlík, R. Pernicová, [et al.]. AIP Conference Proceedings 1738, 280005 (2016); <https://doi.org/10.1063/1.4952065> Published Online: 23 June 2016.
5. Франке Р. Пригласите природу в ваш дом: известковая штукатурка МКЕ 11 // Сухие строительные смеси. 2012. № 3. С. 11–13.
6. Штукатурные покрытия как регулятор параметров микроклимата в помещении: обзор теоретических и экспериментальных исследований / В. В. Строкова, М. Н. Сивальнева, С. В. Неровная [и др.] // Строительные материалы. 2021. № 7. С. 32–72. DOI: 10.31659/0585-430X-2021-793-7-32-72.
7. Влияние стеарата кальция на микробиологическую коррозию цементного камня бетона / К. Б. Строкин, А. А. Гальцев, В. С. Коновалова [и др.] // Строительные материалы. 2024. № 8. С. 25–29.
8. Чеснокова Т. В., Румянцева В. Е., Логинова С. А. Моделирование процесса био-разрушения бетона на предприятиях текстильной промышленности // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2020. № 1 (385). С. 206–212.
9. 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.
10. Хуторской С. В., Ерофеев В. Т., Смирнов В. Ф. Биокоррозия и биостойкость известковых композитов // Вестник Волжского регионального отделения Российской академии архитектуры и строительных наук. 2011. № 14. С. 132–135.

11. Логанина В. И. Сухие строительные смеси для реставрации зданий исторической застройки // Региональная архитектура и строительство. 2015. № 3 (24). С. 34–42.
12. Реставрация исторических объектов с применением современных сухих строительных смесей / Ю. В. Пухаренко, А. М. Харитонов, Н. Н. Шангина [и др.] // Вестник гражданских инженеров. 2011. № 1 (26). С. 98–103.
13. Хавкин Л. М. Технология силикатного кирпича. Репринтное воспроизведение издания 1982 г. М.: ЭКОЛИТ, 2011. 384 с.
14. Хинт Й. А. Основы производства силикатных изделий. М.–Л.: Государственное издательство литературы по строительству, архитектуре и строительным материалам, 1962. 642 с.
15. Волженский А. В., Буров Ю. С., Колокольников В. С. Минеральные вяжущие вещества: (технология и свойства). Учебник для вузов 3-е изд., перераб. и доп. М.: Стройиздат, 1979. 473 с.
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.

References

1. Zima A. G. Ekologichnost' otdelochnykh stroitel'nykh materialov, kriterii vybora (s tochki zreniya vozdeystviya na organizm cheloveka) [Environmental friendliness of finishing construction materials. Selection criteria (from the point of view of impact on human health)]. *Zametki uchenogo*, 2020, issue 10, pp. 253–257.
2. Ruchnova V. R. Vliyanie sovremennykh stroitel'nykh materialov na ekologiyu zhil'ya [The influence of modern building materials on the ecology of housing]. *Pokolenie budushchego: Vzglyad molodykh uchenykh – 2022: sbornik nauchnykh statej 11-j Mezhdunarodnoj molodezhnoj nauchnoj konferencii*. Kursk: YUZGU. 2022, pp. 520–522.
3. Franke R. Priglasite prirodu v vash dom. Izvestkovaya shtukaturka dlya mashinnogo naneseniya – MKE [Invite nature into your home. lime plaster for machine application – MKE]. *Suhie stroitel'nye smesi*, 2011, issue 1, pp. 10–11.
4. The influence of inner hydrophobisation on water transport properties of modified lime plasters / M. Pavlíková, Z. Pavlík, R. Pernicová, [et al.]. AIP Conference Proceedings 1738, 280005 (2016); <https://doi.org/10.1063/1.4952065> Published Online: 23 June 2016.
5. Franke R. Priglasite prirodu v vash dom: izvestkovaya shtukaturka MKE 11 [Invite Nature in Your Home: Lime Plaster MKE]. *Suhie stroitel'nye smesi*, 2012, issue 3, pp. 11–13.

6. Shtukaturnyye pokrytiya kak regulyator parametrov mikroklimata v pomeshchenii: obzor teoreticheskikh i eksperimental'nykh is-sledovaniy [Plaster coatings as a regulator of microclimate parameters in the room: a review of theoretical and experimental studies]. V. V. Strokova, M. N. Sivalneva, S. V. Nerovnaya [et al.]. *Stroitel'nye Materialy*, 2021, issue 7, pp. 32–72. DOI: 10.31659/0585-430X-2021-793-7-32-72.

7. Vliyaniye stearata kal'tsiya na mikrobiologicheskuyu korroziyu tsementnogo kamnya betona [The Effect of Calcium Stearate on the Microbiological Corrosion of Cement Stone Concrete] / K. B. Stokin, A. A. Galtsev, V. S. Konovalova [et al.]. *Stroitel'nye Materialy*, 2024, issue 8, pp. 25-29.

8. Chesnokova T. V., Rumyantseva V. E., Loginova S. A. Modelirovaniye protsessa biorazrusheniya betona na predpriyatiyakh tekstil'noy promyshlennosti [Modeling of the process of biodestruction of concrete at the enterprises of the textile industry]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenij. Tekhnologiya tekstil'noy promyshlennosti*, 2020, vol. 1 (385), pp. 206–212.

9. Fedosov S. V., Rumyantseva V. E., Loginova S. A. Issledovaniye protsessov massopereenosy pri biokorrozii betona [Study of mass transfer processes in biocorrosion of concrete]. *Fundamental'nye, poiskovye i prikladnye issledovaniya RAASN po nauchnomu obespecheniyu razvitiya arhitektury, gradostroitel'stva i stroitel'noy otrasli Rossijskoj Federacii v 2020 godu: sbornik nauchnykh trudov RAASN. V 2 tomah*. Moscow: Rossijskaya akademiya arhitektury i stroitel'nykh nauk (RAASN), 2021, pp. 299–303.

10. Khutorskoy S. V., Erofeev V. T., Smirnov V. F. Biokorroziya i biostoykost' izvestkovykh kompozitov [Biocorrosion and bio-resistance of lime composites]. *Vestnik Volzhskogo regional'nogo otdeleniya Rossijskoj akademii*

arhitektury i stroitel'nykh nauk, 2011, issue 14, pp. 132–135.

11. Loganina V. I. Sukhiye stroitel'nyye smesi dlya restavratsii zdaniy istoricheskoy zastroyki [Dry building mixtures for the restoration of buildings of historical buildings]. *Regional'naya arhitektura i stroitel'stvo*, 2015, vol. 3 (24), pp. 34–42.

12. Restavratsiya istoricheskikh ob'yektov s primeneniym sovremennykh sukhikh stroitel'nykh smesey [Restoration of historical objects with the use of modern dry building mixtures] / Yu. V. Pukharenskiy, A. M. Kharitonov, N. N. Shangina [et al.]. *Vestnik grazhdanskih inzhenerov*, 2011, vol. 1 (26), pp. 98–103.

13. Khavkin L. M. *Tekhnologiya silikatnogo kirpicha. Reprintnoe vosproizvedenie izdaniya* [Silicate brick technology. Reprintnoe vosproizvedenie izdaniya] 1982 g. M.: EKOLIT. 2011. 384 p. (In Russian).

14. Hint Y. A. Osnovy proizvodstva silikatnykh izdelij. [Basics of production of silicate products]. M.-L.: State publishing house of literature on construction, architecture and building materials. 1962. 642 p.

15. Volzhenskij A. V., Burov Ju. S., Kolokol'nikov V. S. Mineral'nye vjazhushhie veshchestva: (tehnologiya i svoystva). Uchebnik dlja vuzov 3-e izd., pererab. i dop. [Mineral binders: Technology and Properties. Textbook for universities 3rd ed., reprint. and add.]. Moscow: Strojizdat, 1979, 473 p.

16. Rumyantseva V. E., Panchenko D. A., Panchenko Iu. F. Razrabotka sostava suhoj shtukaturnoj smesi na osnove izvesti [Development of a dry plaster mix based on lime]. *Arhitektura, stroitel'stvo, transport*, 2022, issue 2, pp. 39–46. DOI: 10.31660/2782-232X-2022-2-39-46.

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

кандидат технических наук, доцент кафедры строительных материалов

E-mail: panchenkoda@tyuiu.ru.

Panchenko Dmitrii Alekseevich

Tyumen Industrial University

Russian Federation, Tyumen

candidate of technical sciences, docent 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 Iuliia Fyodorovna

Tyumen Industrial University

Russian Federation, Tyumen

candidate of technical sciences, docent of the Construction Materials Department

E-mail: panchenkojf@tyuiu.ru

Фролова Татьяна Владиславовна

Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,

Российская Федерация, г. Иваново

кандидат химических наук

E-mail: frolovatanja@mail.ru

Frolova Tatiana 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 science

E-mail: frolovatanja@mail.ru

Смирнов Дмитрий Александрович

ООО «Инжпроджект»

Российская Федерация, г. Иваново

Главный инженер проекта

E-mail: smirnov.demon@mail.ru

Smirnov Dmitrii Aleksandrovich

LLC «InjProdjekt»

Russian Federation, Ivanovo

Chief Project Engineer

E-mail: smirnov.demon@mail.ru

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

УДК: 504.05:621.039.7

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ
ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ НАСЕЛЕНИЯ
И АВАРИЙНО-СПАСАТЕЛЬНЫХ ФОРМИРОВАНИЙ ПРИ АВАРИЯХ НА АЭС**

О. Г. ЗЕЙНЕТДИНОВА, П. В. ДАНИЛОВ

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

В статье рассмотрены основы оценки обстановки при авариях на радиационно-опасных объектах в рамках системы поддержки принятия решений с использованием предложенного программно-аппаратного комплекса в условиях необходимости принятия управленческих решений по обеспечению безопасности населения и аварийно-спасательных формирований.

Ключевые слова: радиация, радиационно-опасные объекты, источники радиации, оценка обстановки, радиационная обстановка, управление в ЧС.

**IMPROVING THE DECISION SUPPORT SYSTEM TO ENSURE THE SAFETY
OF THE PUBLIC AND EMERGENCY RESCUE TEAMS IN CASE OF ACCIDENTS
AT NUCLEAR POWER PLANTS**

O. G. ZEYNETDINOVA, P. V. DANILOV

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: zeinet@bk.ru

The article discusses the basics of assessing the situation in case of accidents at radiation-hazardous facilities within the framework of a decision support system using the proposed software and hardware complex in the context of the need to make managerial decisions to ensure the safety of the public and emergency rescue units.

Keywords: radiation, radiation hazardous objects, sources of radiation, assessment of the situation, radiation situation, emergency management.

Радиационные катастрофы на АЭС происходят сравнительно редко. За последние 20 лет на российских АЭС не зафиксировано ни одного серьезного нарушения безопасности, классифицируемого выше первого уровня по Международной шкале INES¹. Неуклонно сокращается число внеплановых отключений АЭС от сети и внеплановых остановок работы реакторов. Радиационный фон в районах расположения АЭС не превышает установленных

норм и соответствует природным значениям, характерным для соответствующих местностей. Тем не менее, «мирный» атом по-прежнему представляет значительную угрозу для населения и территорий [1]. Прецедентами для формирования аварийной ситуации на объектах ядерной энергетики могут быть нарушения технологического процесса (Чернобыльская АЭС), природные катастрофы (Фукусима-1). События, развивающиеся в период проведения

Зейнетдинова О. Г., Данилов П. В., 2025

¹ Госкорпорация «Росатом», ядерные технологии, атомная энергетика АЭС, ядерная медицина. Режим

доступа: <https://www.rosatom.ru/production/generation/>
(дата обращения 01.04.2025)

специальной военной операции так, что атомные электростанции могут подвергаться нападениям (Запорожская АЭС), служить объектами шантажа и террористической угрозы (Курская АЭС). Понимание ключевых аспектов комплексной оценки ситуации, возникающей вследствие аварии на радиационно-опасном объекте, приобретает фундаментальную значимость в контексте обеспечения безопасности гражданского населения, территориального пространства и специализированных аварийно-спасательных подразделений, потенциально подверженных воздействию радиологического загрязнения. Это обусловлено необходимостью эффективного принятия оперативных управленческих решений, направленных на разработку и реализацию комплексных мер противодействия распространению радиоактивных веществ и минимизации негативных последствий воздействия ионизирующего излучения на население и окружающую среду.

Исходя из концепции МАГАТЭ, а также с учетом российской нормативно-правовой базы обеспечение безопасности населения и территорий от угрозы радиационного заражения должно включать в себя несколько уровней: предотвращение нарушений технологического процесса и нормальной эксплуатации объекта энергетики, предотвращение проектных аварий системами безопасности, предотвращение за-проектных аварий, управление аварийным процессом и планирование противорадиационных мероприятий на территориях, подвергшихся радиоактивному загрязнению [2].

С целью планирования мероприятий по защите населения и территорий, которые повлияют на эффективность принятия решений по обеспечению безопасности населения, аварийно-спасательных формирований и территорий необходимо разграничение мероприятий по срочности их применения и, соответственно, для разделения зон ответственности структурных подразделений ведомств, участвующих в аварийно-спасательных работах, обеспечивающих порядок и органов власти.

Основной принцип зонирования территорий вокруг АЭС основан на регламентировании возможной дозы радиоактивного облучения персонала и населения относительно как всего организма в целом, так и наиболее чувствительных органов (щитовидная железа, костные ткани, репродуктивные органы).

В соответствии с требованиями МАГАТЭ² для АЭС, как объекта I категории

готовности к радиационной аварийной ситуации, при планировании разрабатываются три группы мероприятий в зависимости от срочности их реализации: неотложные, среднесрочные и иные меры реагирования. Среднесрочные защитные мероприятия, к которым относятся, например, отселение, долговременное ограничение употребления продуктов растениеводства и животноводства, не теряют своей актуальности от нескольких недель до нескольких месяцев. Иные меры реагирования (медицинские обследования и наблюдения, психологические консультации, меры устранения радиационных последствий аварии) работают на долгосрочную перспективу. Аварийно-спасательные формирования МЧС России как правило привлекаются к этапу неотложных мероприятий по ликвидации последствий ЧС, реализация которых требует наиболее детального планирования и обдуманного подхода, так как он проходит в условиях жесточайшего дефицита времени. Это обусловлено тем, что неотложные защитные меры эффективны только при их незамедлительном (не более 10 суток) проведении [3]. При задержке их исполнения эффективность таких мероприятий сводится к нулю. К неотложным относятся мероприятия, весь спектр действий которых направлен на максимально возможное снижение радиоактивного облучения как персонала объекта, так и населения на прилегающих к АЭС территориях. Принципиальный подход к решению этого вопроса основывается на возможности снижения радиационной нагрузки, используя три основных фактора защиты: защита временем нахождения в радиоактивной зоне, защита расстоянием, защита с использованием средств индивидуальной защиты [4]. К основным неотложным мероприятиям относятся эвакуация, краткосрочное укрытие в защитных сооружениях, йодная профилактика. К вспомогательным способам относится применение медицинских препаратов [5].

Как показала практика проведения аварийно-спасательных работ на «Фукусима-1», необъективное планирование защитных мероприятий, когда фактические зоны необходимости принятия решений значительно превышали зоны, обозначенные при предварительных расчетах, значительно усложнило выполнение ряда задач³.

Овладение методиками моделирования и объективной оценки сложившейся оперативной обстановки в условиях радиационного

² Нормы безопасности МАГАТЭ. Общие требования безопасности № GSR part 7. Готовность и реагирование в случае ядерной или радиологической аварийной ситуации. – МАГАТЭ, Вена, 2016

³ Implementation of Defence in Depth at Nuclear Power Plants Lessons Learnt from the Fukushima Daiichi Accident. NEA, 2016; Авария на АЭС «Фукусима-Дайичи». Доклад Генерального директора. МАГАТЭ, Вена, 2015

риска является неотъемлемым компонентом профессиональной подготовки выпускников образовательных учреждений Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий. Формирование указанных компетенций целесообразно осуществлять посредством организации практических занятий в рамках учебных дисциплин, посвящённых изучению теоретико-методологических основ гражданской обороны, управления в чрезвычайных ситуациях, а также вопросов радиационной, химической и биологической защиты населения и территории. Для совершенствования образовательного процесса и возможности формирования навыков принятия

управленческих решений нами была разработана обучающая программа «Расчет зон принятия решений по защите населения при авариях на радиационно-опасных объектах» [6, 7].

Основным нормативным источником для формирования алгоритма по оценке радиационной обстановки при запроектных авариях на АЭС нами был принят Национальный стандарт РФ ГОСТ Р 22.2.11-2018 «Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Методика оценки радиационной обстановки при запроектной аварии на атомной станции» (утв. и введен в действие приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 18 декабря 2018 г. № 1130-ст).

Рис. 1. Общий вид программы ЭВМ «Расчет зон принятия решений по защите населения при авариях на радиационно-опасных объектах»

Вышеуказанный нормативный документ определяет пороговые значения доз облучения, на основании которых формируются решения о применении мер радиационной защиты населения. Исходные данные для построения моделей радиационной обстановки включали следующие ключевые характеристики: тип используемого ядерного реактора, установленная тепловая мощность энергоблока, линейные координаты относительно центра зоны выброса (расстояние вдоль оси распространения радиоактивного шлейфа и поперечное отклонение от неё), определяющие положение расчётной точки поверхности Земли (координаты), а также вид вертикальной устойчивости атмосферы, характеризующий условия рассеивания радиоактивных частиц. Прогностическое моделирование осуществлялось на основании допущений о данных метеоусловий, соответствующих среднестатистическим климатическим параметрам

конкретного региона для заданного сезона и временного интервала суток.

Следует отметить, что методика оценки радиационной обстановки содержит все типы данных по реакторам РБМК и ВВЭР. До последнего времени это было весьма актуально, так как данные типы реакторов являются самыми распространенными не только в России, но и в мире. Из 37 энергоблоков, эксплуатируемых в России, 22 – это энергоблоки ВВЭР, 8 – энергоблоки РБМК. И если энергоблоки РБМК постепенно будут закрываться, то ВВЭР является весьма перспективным реактором. В настоящее время в России помимо представленных действуют 3 энергоблока с реакторами типа ЭГП-6; 2 энергоблока с реакторами на быстрых нейтронах с натриевым охлаждением (БН-600 и БН-800); 2 реакторные установки типа КЛТ-40С электрической мощностью по 35 МВт в составе плавучей атомной тепло-

электростанции (ПАТЭС)⁴. Данных, по крайней мере в открытом доступе, позволяющих планировать мероприятия в рамках аварийно-спасательных работ на стадии неотложных мероприятий при запроектных авариях на электростанциях с последней группой реакторов нет.

При разработке обучающей программы, позволяющей формировать исходные данные для планирования и реализации мероприятий по защите от радиационного поражения, мы ставили перед собой две группы задач.

К первой группе относятся все расчеты, позволяющие определить комплекс мер по защите населения, пребывающего на зараженной территории. При этом, наряду с тем, что программа определяет границы зон принятия решения по йодной профилактике и эвакуации различных категорий населения (взрослое население, дети, беременные женщины), мы ставили в качестве задачи и возможность обоснования данных мероприятий в конкретном населенном пункте на радиоактивно загрязненной территории. К защитным мероприятиям для населения прилегающих к АЭС территорий относится временное укрытие в защитных сооружениях. Мы считаем, что наряду с определением границ зоны, для каждого населенного пункта должны быть разработаны регламенты укрытия населения с определением типа используемых защитных сооружений, а также возможности временного укрытия в строениях с учетом коэффициента ослабления. Наряду с уровнем радиации в конкретной точке зараженной местности принципиальное значение для определения дозы имеет время нахождения в радиоактивной зоне до момента эвакуации, а также доза, полученная в ходе передвижения по зараженной местности. Данные параметры определяются рядом административных и технических факторов: логистикой, наличием и видом эвакуационного транспорта, очередностью эвакуации, временем в пути до безопасной зоны, выбором маршрутов эвакуации. Эти параметры должны дополнительно вводиться в программу.

Основным параметром, определяющим все последующие расчеты, является уровень радиации на открытой местности. В качестве эталонного мы принимали уровень радиации на 1 час после взрыва.

Стандартно снижение уровня радиации на зараженной территории описывается уравнением Вей-Вигнера [8]:

$$P_t = P_0 \left(\frac{t}{t_0} \right)^{-n},$$

где: P_t – искомый уровень радиации на время t ; P_0 – известный уровень радиации на время t_0 ; n – показатель спада уровня радиации.

В сравнении с зонированием территорий в районе ядерного взрыва, расчет параметров радиационной обстановки при запроектной аварии на АЭС имеет свои принципиальные особенности [7].

Прежде всего источником радиоактивного облучения является топливо, прошедшее определенные этапы распада. Наличие долгоживущих радиоактивных элементов определяет длительность радиоактивного заражения территорий [9].

Коэффициент снижения мощности радиоактивного излучения представляет собой переменную величину, зависящую как от конструктивных особенностей реакторной установки, так и продолжительности её эксплуатации. В частности, при возникновении аварийных ситуаций, сопровождающихся разрушением активной зоны ядерных энергетических установок старше двадцати лет службы, коэффициент скорости уменьшения мощности дозы гамма-излучения на протяжении первых пяти месяцев принимается условно равным значению 0,4.

В значительной степени усложняется оценка радиационной обстановки при многократном и растянутом во времени выбросе радиоактивных веществ, что характерно для аварий на радиационно-опасных объектах. И если при ядерном взрыве или однократном выбросе из реактора и устойчивом состоянии атмосферного воздуха движение радиоактивного облака имеет след в форме эллипса, растянутого по направлению среднего ветра, то, как правило, при многократных продолжительных выбросах радиоактивных элементов формируются сложные конфигурации границ зон заражения. Территория на расстоянии более чем 1000 км от реактора характеризуется так называемым очаговым заражением, что необходимо учитывать при планировании защитных мероприятий [3].

Расчеты по методике ГОСТ Р 22.2.11-2018 подразумевают использование таблиц с заранее рассчитанными коэффициентами. Данный метод в значительной степени упрощает расчет, но характеризуется значительными погрешностями, допусками, большими интервалами при выборке показателей расстояния и времени.

Применение вычислительных методов, базирующихся на строгих математических принципах, существенно повышает точность анализа радиационной обстановки и открывает новые перспективы для детальной оценки происходящих процессов. Программирование,

⁴ Госкорпорация «Росатом», ядерные технологии, атомная энергетика АЭС, ядерная медицина. Режим

доступа: <https://www.rosatom.ru/production/generation/> (дата обращения 01.04.2025)

основанное на математическом моделировании, даёт возможность детально исследовать пространственно-временную эволюцию уровней радиации и доз облучения, позволяя рассчитывать эффективные величины внешней дозы за ограниченный временной интервал пребывания в районе максимального радиационного поражения с высокой локализацией относительно конкретной географической позиции в пределах загрязнённой зоны.

В качестве модельной мы принимали зависимость дозы облучения от времени начала и конца облучения:

$$D = 1,7P_0 (t_H^{0,6} - t_K^{0,6})/K_{осл}$$

где: P_0 – мощность дозы на 1 час после взрыва;
 t_H – время начала облучения, часы после взрыва;

t_K – время окончания облучения, часы после взрыва;

$K_{осл}$ – коэффициент ослабления.

Для принятия решений о проведении эвакуационных мероприятий, мероприятий по

йодной профилактике и временному укрытию населения расчет доз радиации за короткие временные промежутки не имеет принципиального значения, так как исходными данными для планирования является доза, полученная за 10 суток нахождения в радиоактивной зоне.

Точный и детальный анализ радиационной обстановки чрезвычайно важен при планировании АСДНР и определении возможных доз облучения для аварийно-спасательных формирований, что представляет собой вторую группу задач, решаемых нами при разработке программного комплекса. Это прежде всего определяется основным условием оказания помощи в любой зоне чрезвычайных ситуаций (природные или техногенные катастрофы, зоны ведения боевых действий, зоны проявления экстремизма и терроризма) для спасателей – обеспечение собственной безопасности. В связи с этим перед нами встал вопрос о разработке программы «Расчет радиационной обстановки при авариях на радиационно опасных объектах» [7, 10], позволяющей отработать на практических занятиях навыки обоснования параметров работы в зоне радиоактивного загрязнения.

Рис. 2. Общий вид и пример расчётов программы ЭВМ «Расчет радиационной обстановки при авариях на радиационно опасных объектах»

Данная программа ЭВМ разработана для расчета параметров радиационной обстановки при авариях на радиационно опасных объектах. В программе используется методика, позволяющая провести расчет мощности дозы на определенное время после взрыва, расчет дозы облучения, расчет параметров зон принятия решений, допустимое время пребывания на радиоактивно загрязненной территории при различных вариантах начала и условий проведения АСидНР с целью обеспечения безопасности спасательных формирований и населения.

Программный продукт позволяет решить следующие задачи:

1. Определить мощность дозы гамма-излучения на оси следа облака на 1 час после аварии.
2. Определить мощность дозы гамма-излучения на оси (в стороне от оси) следа облака на время t после аварии.
3. Определить время подхода облака радиоактивного загрязнения к объекту.
4. Определить дозу облучения.
5. Определить дозу облучения щитовидной железы.
6. Рассчитать параметры зоны принятия решения.
7. Определить допустимую продолжительность пребывания людей на радиоактивно загрязненной местности при аварии на АЭС.

Решение вышеупомянутых задач позволит сократить время на принятие решений по организации АСидНР в условиях аварий на радиационно опасных объектах.

Программа ЭВМ направлена на использование специалистами служб гражданской обороны и служб МЧС России для проведения расчета регламентов работы в зоне радиоактивного загрязнения.

Программа ЭВМ «Расчет радиационной обстановки при авариях на радиационно опасных объектах» позволяет в кратчайшие сроки рассчитать такие параметры как:

- уровень радиации на прогнозируемое время;
- дозу облучения при пребывании на радиационной территории;
- время и условия нахождения безопасные для жизни и здоровья спасательных формирований при нахождении на зараженной территории;
- параметры зон принятия решений.

Основным безусловным критерием для расчетов по обеспечению радиационной безопасности является доза облучения, полученная в период проведения работ. Параметры облучения в условиях мирного времени от техногенных источников регулируются нормами радиационной безопасности. В условиях

ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций на объектах ядерного топливного цикла принято использовать пороговые значения доз, не приводящих к снижению работоспособности коллектива. В этих случаях могут иметь место однократные и многократные дозы облучения. Однократная эквивалентная доза, полученная в течение 1–4 суток, составляет 0,5 Зв. Многократная доза облучения в течение 1–30 суток составляет 1 Зв, в течение 3-х месяцев – 2 Зв и в течение года – 3 Зв [11]. Данные дозы существенно отличаются от пороговых доз работы в условиях безаварийного технологического процесса, и следует отметить, что с медицинской точки зрения однократная доза 0,5 Зв в условиях напряжения и усталости может привести к необратимым последствиям для организма [12].

Наряду с модулями по выявлению территорий, на которых необходимо проведение неотложных мероприятий по защите населения, мы включили модули по расчету режимов безопасной работы аварийно-спасательных формирований. Для планирования всего комплекса мероприятий по проведению АСидНР необходимо оперировать данными по безопасному времени нахождения в радиоактивной зоне, времени входа и выхода с загрязненной территории, количеству рабочих смен. Представленный спектр расчетов позволит произвести планирование всех мероприятий с максимальной точностью.

Таким образом, используя разработанные нами программы ЭВМ обучающиеся и специалисты смогут обосновать необходимость выполнения ряда задач по защите населения в конкретном населенном пункте на зараженной территории: йодная профилактика, эвакуация, необходимость в использовании средств коллективной защиты с определением времени и вида защитного сооружения или возможности использования для укрытия типовых строительных сооружений.

Также определив объем задач, стоящих перед аварийно-спасательными формированиями, и оперируя данными по значениям мощности дозы на любой момент времени в точках как на следе радиоактивного облака, так на удалении от следа, дозе внешнего облучения за определенный промежуток времени на участке работы и на маршрутах ввода, оптимальной продолжительности работы и, соответственно, времени входа и выхода рабочей смены из зоны радиоактивного заражения, специалист работающий с предоставленным программным обеспечением может сформировать комплекс управленческих решений, обеспечивающий безопасность проведения работ аварийно-спасательными формированиями. Исходя из продолжительности и объема работ можно

рассчитать количество сил и средств, необходимых для проведения АСДНР [7, 13].

На данном этапе разработки и внедрения предложенные нами программы решают несколько задач: 1) зонирование территорий по необходимости проведения неотложных мероприятий по защите населения от радиационной опасности; 2) на основе анализа радиационной обстановки формирование управленческих решений по обеспечению безопасной работы аварийно-спасательных формирований; 3) разработка и практическая реализация организационно-управленческих мероприятий, обеспечивающих защиту населения, находящегося в зоне потенциального радиационного поражения в результате инцидента на атомной

электростанции, путём рационального использования укрытий и объектов инженерной инфраструктуры, а также оперативного осуществления эвакуационных процедур из зон повышенного риска; 4) Определение оптимальных путей вывода населения из зоны радиационного поражения с минимальным риском для здоровья. Перспективы применения представленного программного продукта включают использование его в образовательном процессе для подготовки обучающихся и повышения квалификации сотрудников, а также внедрение в практику деятельности оперативно-диспетчерских центров главных управлений МЧС России субъектов федерации для успешного решения обозначенного круга задач.

Список литературы

1. Зейнетдинова О. Г. Особенности оценки радиационной обстановки при чрезвычайных ситуациях на АЭС // Актуальные вопросы пожаротушения: сборник материалов III Всероссийского круглого стола. Иваново: Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, 2024. С. 85–87. EDN: XAQNII

2. Курындин А. В., Сорокин Д. В., Шаповалов А. С. О необходимости совершенствования подходов к установлению зон противоаварийного планирования объектов использования атомной энергии // Ядерная и радиационная безопасность. 2021, № 3 (101), С. 26–35 DOI: 10.26277/SECNRS.2021.101.3. 003 EDN: WQANUC

3. Владимиров В. А., Измалков В. И., Измалко А. В. Радиационная и химическая безопасность населения. М.: Деловой экспресс, 2005. 544 с. EDN: TRCNVR

4. Основы обеспечения безопасности населения при авариях на радиационно-опасных объектах / О. Г. Зейнетдинова, Е. С. Титова, К. В. Жиганов [и др.] // Актуальные вопросы пожаротушения: сборник материалов III Всероссийской научно-практической конференции. Иваново: Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, 2023. С. 52–55. EDN: EKULSR

5. Зейнетдинова О. Г. Медикаментозная профилактика радиационных поражений у спасателей // Совершенствование вопросов антикризисного управления. Иваново: Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, 2024. С. 14–18.

6. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ 2024691343. Расчет зон принятия решений по защите

населения при авариях на радиационно-опасных объектах / П. В. Данилов, О. Г. Зейнетдинова; № 2024690705; заявл. 11.12.2024; опубл. 20.12.2024, Бюл. № 12. 1 с.

7. Зейнетдинова О. Г., Данилов П. В., Кокурин А. К. Моделирование радиационной обстановки в очаге ядерного поражения // Современные проблемы гражданской защиты. 2024. № 4 (53). С. 126–133. EDN: CTHCQT.

8. Волошин Н. П., Дубасов Ю. В. Ядерные испытания СССР. Мирные ядерные взрывы. Обеспечение общей и радиационной безопасности при их проведении. М.: Изд.АТ. 2001. 519 с.

9. Смирнова А. К. Разработка математической модели выхода радионуклидов из топлива при авариях на РБМК: дис. ... канд. техн. наук: 2.4.9. М., 2024. 151 с. EDN: LWFZTK.

10. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ 2025619668. Расчет радиационной обстановки при авариях на радиационно опасных объектах/ П. В. Данилов, О. Г. Зейнетдинова; № 2025617939 заявл. 07.04.2025; опубл. 17.04.2025, Бюл. № 4. 2 с.

11. Пучков В. А. Гражданская оборона. М.: МЧС России, 2014. 484 с.

12. Руководство по организации санитарно-гигиенических и лечебно-профилактических мероприятий при крупномасштабных радиационных авариях/ под общ. ред. акад. РАМН Л.И. Ильина. М., ВЦМК «Защита», 2000. 244 с.

13. Моделирование ситуационных задач по ликвидации чрезвычайных ситуаций на потенциально-опасных объектах / П. В. Данилов, А. К. Кокурин, А. О. Семенов [и др.] // Современные проблемы гражданской защиты. 2022, № 4 (45). с. 13–20. EDN: IFJMEM

References

1. Zejnetdinova O. G. Osobennosti ocenki radiacionnoj obstanovki pri chrezvychajnyh situatsiyah na AES [Features of assessing the radiation situation in emergency situations at nuclear power plants] *Aktual'nye voprosy pozharotusheniya: sbornik materialov III Vserossiyskogo kruglogo stola*. Ivanovo: Ivanovskaya pozharno-spasatel'naya akademiya GPS MCHS Rossii, 2024, pp. 85–87. EDN: XAQHII
2. Kuryndin A. V., Sorokin D. V., Shapovalov A. S. O neobходимosti sovershenstvovaniya podhodov k ustanovleniyu zon protivopavarijnogo planirovaniya ob"ektov ispol'zovaniya atomnoj energetiki [On the need to improve approaches to the establishment of emergency planning zones for nuclear power facilities] *Yadernaya i radiacionnaya bezopasnost'*. 2021, vol. 3 (101), pp. 26–35. DOI: 10.26277/SECNRS.2021.101.3.003 EDN: WQANUC
3. Vladimirov V. A., Izmalkov V. I., Izmalkov A. V. *Radiacionnaya i himicheskaya bezopasnost' naseleniya* [Radiation and chemical safety of the population]. Moscow: Delovoy ekspress, 2005. 544 p. EDN: TRCNVR
4. Osnovy obespecheniya bezopasnosti naseleniya pri avariayah na radiacionno-opasnykh ob"ektakh [Fundamentals of ensuring public safety in case of accidents at radiation-hazardous facilities] / O. G. Zejnetdinova, E. S. Titova, K. V. Zhiganov [et al.]. *Aktual'nye voprosy pozharotusheniya: sbornik materialov III Vserossiyskoj nauchno-prakticheskoy konferencii*. Ivanovo: Ivanovskaya pozharno-spasatel'naya akademiya GPS MCHS Rossii, 2023, pp. 52–55. EDN: EKULSR
5. Zejnetdinova O. G. Medikamentoznaya profilaktika radiacionnykh porazhenij u spasatelej [pharmacological prevention of radiation damage in rescuers] *Sovershenstvovanie voprosov anti-kriznogo upravleniya*. Ivanovo: Ivanovskaya pozharno-spasatel'naya akademiya GPS MCHS Rossii, 2024, pp. 14–18
6. Danilov P. V., Zejnetdinova O. G. Svidetel'stvo o gosudarstvennoj registracii programmy dlya EVM 2024691343 Raschet zon prinyatiya reshenij po zashchite naseleniya pri avariayah na radiacionno-opasnykh ob"ektakh [Calculation of decision-making areas for the protection of the public in case of accidents at radiation-hazardous facilities], № 2024690705, byulleten № 12, 1 p.
7. Zejnetdinova O. G., Danilov P. V., Kokurin A. K. Modelirovanie radiacionnoj obstanovki v ochage yadernogo porazheniya [Simulation of the radiation situation in a nuclear disaster site]. *Sovremennye problemy grazhdanskoj zashchity*, 2024, vol. 4(53), pp. 126–133. EDN: CTHCQT
8. Voloshin N. P., Dubasov Yu. V. *Yadernye ispytaniya SSSR. Mirnye yadernye vzryvy. Obespechenie obshchej i radiacionnoj bezopasnosti pri ih provedenii* [Nuclear tests of the USSR. Peaceful nuclear explosions. Ensuring general and radiation safety during their implementation]. Moscow: Izd. AT. 2001. 519 p.
9. Smirnova A. K. Razrabotka matematicheskoy modeli vyhoda radionuklidov iz topliva pri avariayah na RBMK. Diss. kand. tekhn. nauk [Development of a mathematical model for the release of radionuclides from fuel during accidents at RBMK. Cand. tech. sci. diss.]. Moscow, 2024. 151 p. EDN: LWFZTK
10. Danilov P. V., Zejnetdinova O. G. Svidetel'stvo o gosudarstvennoj registracii programmy dlya EVM 2025619668 Raschet radiacionnoj obstanovki pri avariayah na radiacionno opasnykh ob"ektakh [Calculation of the radiation situation in case of accidents at radiation-hazardous facilities], № 2025617939, byulleten № 4, 2 p.
11. Puchkov V. A. *Grazhdanskaya oborona* [Civil defense]. Moscow: MCHS Rossii, 2014. 484 p.
12. *Rukovodstvo po organizacii sanitarno-gigienicheskikh i lechebno-profilakticheskikh mero-priyatij pri krupnomasshtabnykh radiacionnykh avariayah* [Guidelines for the organization of sanitary and hygienic and therapeutic and preventive measures in case of large-scale radiation accidents]. Pod obshch. red. akad. RAMN L. I. Il'ina. Moscow: VCMK «Zashchita», 2000. 244 p.
13. Modelirovanie situacionnykh zadach po likvidacii chrezvychajnyh situatsij na potencial'no-opasnykh ob"ektakh [Simulation of situational tasks for emergency response at potentially dangerous facilities] / P. V. Danilov, A. K. Kokurin, A. O. Semenov [et al.]. *Sovremennye problemy grazhdanskoj zashchity*, 2022, vol. 4 (45), pp. 13–20. EDN: IFJMEM

Зейнетдинова Ольга Геннадьевна,

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

Кандидат биологических наук, доцент, доцент кафедры

E-mail: zeinet@bk.ru,

Zeinetdinova Ol'ga Gennad'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 biological Sciences, associate Professor, associate Professor of unit

E-mail: zeinet@bk.ru.

Данилов Павел Владимирович,

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

Старший преподаватель кафедры

E-mail: KGZiUii@mail.ru

Danilov Pavel Vladimirovich,

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

Russian Federation, Ivanovo

Senior Lecturer of the Department

E-mail: KGZiUii@mail.ru

УДК 614.842/847

МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ТРЕНИРОВОЧНЫХ ЗАНЯТИЙ С ПОВТОРНОЙ НАГРУЗКОЙ ПРИ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ ПОДГОТОВКЕ СПЕЦИАЛИСТОВ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Д. Н. ШАЛЯВИН¹, Р. М. ШИПИЛОВ¹, А. М. НОВИКОВ², Р. Р. САБАНЧИНА²

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

² Академия ГПС МЧС России
Российская Федерация, г. Москва

E-mail: sharap1897@rambler.ru, rim-sgpu@rambler.ru, R.Sabanchina@academygps.ru

В статье предложена методика проведения тренировочных занятий с повторной нагрузкой при профессиональной подготовке специалистов пожарной безопасности. Разработана шкала оценки риска способности реализации циклических работ на тренировочных занятиях. С помощью программного комплекса управления профессиональными рисками при организации проведения циклических работ на тренировочных занятиях у газодымозащитников проведена оценка риска неудачи выполнения предложенного комплекса упражнений с повторной нагрузкой.

Ключевые слова циклические работы, оценка риска, газодымозащитник, работоспособность, комплекс тренировочных упражнений.

THE METHODOLOGY OF CONDUCTING TRAINING SESSIONS WITH REPEATED LOAD IN THE PROFESSIONAL TRAINING OF FIRE SAFETY SPECIALISTS

D. N. SHALAVIN¹, R. M. SHIPILOV¹, A. M. NOVIKOV², R. R. SABANCHINA²

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

E-mail: sharap1897@rambler.ru, rim-sgpu@rambler.ru, R.Sabanchina@academygps.ru

The article proposes a methodology for conducting training sessions with repeated loading during the professional training of fire safety specialists. A risk assessment scale has been developed for the ability to implement cyclical work in training sessions using a professional risk management software package. When organizing cyclical work in training sessions for gas and smoke protectors, the risk of failure to perform the proposed set of exercises with repeated loading has been assessed.

Keywords. cyclic work, risk assessment, gas and smoke protection, efficiency, a set of training exercises.

Введение

Повышенные требования к профессиональной подготовке специалистов пожарной безопасности всегда являлись гарантом успешного функционирования системы МЧС России. Специфика профессиональной деятельности пожарных включает в себя особый подход к организации процесса подготовки [1, 2, 3]. Это связано в первую очередь с тем, что пожарные, при выполнении различных видов работ по

тушению пожаров, регулярно сталкиваются с ситуациями, носящими экстремальный характер [4, 5, 6]. В свою очередь к газодымозащитникам предъявляются обязательные требования в соответствии с приказом МЧС России¹, заключающиеся в непрерывном развитии высокого уровня физической подготовленности. Одним из эффективных путей повышения физической подготовленности сотрудников пожарной охраны является совершенствование исполь-

© Шалаявин Д. Н., Шипилов Р. М., Новиков А. М.,
Сабанчина Р. Р., 2025

¹ Приказ МЧС России от 26 октября 2017 г. № 472
«Об утверждении Порядка подготовки личного состава пожарной охраны».

зуемых средств физического воспитания [7]. В этой связи необходимо регулярно повышать степень профессионального мастерства, о чем свидетельствуют работы Вострецова А. А. (2004), Михайловой В. В. (2008), Зверева В. Л. (2010), Грачева А. А. (2011), Шишкова М. В. (2015), Костяевой А. А. (2019, 2022), Казанцева С. Г. (2021), Шарабановой И. Ю. (2021), Булгакова В. В. (2023) и др. Только в этом случае создаются предпосылки к развитию сферы научных исследований, которые будут направлены на совершенствование методики подготовки пожарных к высоким физическим нагрузкам [8, 9].

Анализ научно-методической литературы (Sykes K., 1984; Burch M., 1991; Подлипняк Ю. Ф., 1995; Вострецова А. А., 2004; Соколов Е. Е., 2006; Гавриленко Е. С., 2007; Михайлова В. В., 2008; Кошбахтиев В. А., 2009; Зверева В. Л., 2010; Грачева А. А., 2011; Балашова Н. А., 2012; Аверинская С. А., 2014; Овечкин Д. Г., 2015; Сысоев А. А., 2015; Казанцев С. Г., 2021; Шалагинов В. Д., 2021; Тараканов Д. В., 2024 и др.) свидетельствует о недостаточности исследовательских работ в области применения инновационных программ по профессиональной подготовке пожарных. Также в современных источниках и имеющихся на сегодняшний день методиках профессиональной подготовки недостаточно уделяется внимания оценке профессиональных качеств при проведении тренировочных занятий.

Для повышения уровня физической подготовленности газодымозащитников применяются различные методы тренировки, которые разделяются на непрерывные и прерывные методы выполнения упражнений [10]. Каждый из них имеет свои особенности и используется для совершенствования тех или иных качеств в зависимости от параметров применяемых упражнений. Варьируя видом упражнений, их продолжительностью и интенсивностью, количеством повторений, а также характером отдыха, можно менять физиологическую направленность выполняемой работы. Наиболее часто применяемым методом является методика повторного упражнения (А. М. Якимов, 2018; К. Н. Сизоненко, А. В. Черкашин, 2019; В. Б. Иссурин, В. И. Лях, 2020; Д. Г. Сидоров, В. М. Щукин, В. В. Карасев, В. А. Скузоватов, 2023 и др.), которая заключается в дозированном циклическом выполнении упражнений через строго определенные интервалы отдыха, которые могут определяться временем, расстоянием, уровнем физиологических показателей человека, таких как частота сердечных сокращений (ЧСС). Этот метод обычно используют для развития работоспособности человека. Для безопасного применения данного метода тренировки в процессе подготовки газодымо-

защитников необходимо четко знать физиологические особенности человека (уровень работоспособности, степень усталости, показатели потребления дыхательной смеси и т.п.), которые будут выполнять предполагаемую нагрузку. Поэтому на сегодняшний день являются актуальными вопросы оценки выполнения тренировочных занятий на основе повторного метода подготовки газодымозащитников с учетом физиологических особенностей человека.

Целью настоящего исследования стала разработка методики оценки профессиональных качеств при проведении тренировочных занятий газодымозащитниками.

Для достижения поставленной цели нужно решить ряд **задач**:

- разработать комплекс упражнений для проведения тренировочных занятий газодымозащитников на основе повторного метода тренировки;
- разработать критерий оценки тренировочных занятий газодымозащитников при выполнении циклических работ;
- применить полученные результаты исследования при оценке разработанного комплекса упражнений.

Организация исследования

Для качественной профессиональной подготовки и адаптации газодымозащитников к повышенным физическим нагрузкам в процессе выполнения циклических работ при тушении пожаров был разработан ряд упражнений, основанных на повторном методе тренировки. В качестве технического средства в разработанном тренировочном комплексе использован спортивный аэробный тренажер «Беговая дорожка». Это обусловлено тем, что данными тренажерами наиболее часто оборудованы современные комплексы по подготовке газодымозащитников. Современные беговые дорожки позволяют легко моделировать различную степень физической нагрузки, это способствует подбору сложности выполнения тренировочных заданий для газодымозащитников, учитывая их уровень работоспособности и степень усталости.

Тренировочные задания будут выполняться следующим образом: испытуемые делятся на 3 подгруппы в зависимости от уровня работоспособности. В первую и вторую подгруппу входят респонденты, имеющие уровень работоспособности средний; в третью подгруппу – тестируемые с уровнем работоспособности высокий и очень высокий. После проведения проверки № 1 дыхательного аппарата со сжатым воздухом (ДАСВ) и подготовки необходимого оборудования и снаряжения, газодымозащитники 1-й подгруппы проводят разминку и начинают выполнять упражнение на беговой

дорожке, пожарные 2-й и 3-й подгруппы готовят аппараты для включения и проводят необходимую разминку. Разминка проводится в боевой одежде пожарного, но без включения в ДАСВ. После достижения пульса разминки [11] участник включается в ДАСВ и выполняет предложенные тренировочные задания в два этапа.

Предлагается несколько вариантов выполнения упражнения на беговой дорожке вторым методом. Показатели тренировочных

нагрузок, предложенных методов выполнения упражнения на беговой дорожке, приведены в табл. 1.

Задания включают в себя выполнение упражнений на беговой дорожке различной интенсивности, которые выполняются непрерывно в несколько этапов. Интенсивность выполнения предложенных упражнений на беговой дорожке представлена в табл. 2.

Таблица 1. Показатели тренировочных нагрузок

Вариант	N _{ГДЗС}	N _{Вкл}	t _{р1} , мин	t _{р2} , мин	t _о , мин
Базовый	3	2	10	10	20
Альтер. 1	3	2	5	15	10
Альтер. 2	3	2	15	5	30
Альтер. 3	3	2	20	5	40

* N_{ГДЗС} – количество звеньев ГДЗС задействованных в тренировке; N_{Вкл} – количество повторных включений, выполняемых в процессе тренировки; t_р – время выполнения тренировки в первом и втором цикле; t_о – время отдыха между циклами.

Таблица 2. Описание выполнения предложенных упражнений

Варианты	Вариация тренировочных циклов		Организация отдыха между циклами
	1 цикл тренировки	2 цикл тренировки	
Базов.	На первом этапе газодымозащитник выполняет бег 2 минуты со скоростью 6 км/ч с углом подъема, равным 5 % (бег в гору). На втором этапе продолжительность бега составляет 4 минуты при этом увеличивается скорость работы дорожки до 7 км/ч, но уменьшается угол подъема до 0 %. На третьем (заключительном) этапе продолжительность выполнения упражнения сокращается до 2 минут с уменьшением скорости работы беговой дорожки до 6 км/ч, угол подъема остается неизменным. Общее время выполнения цикла не более 10 минут.	Этапы выполнения упражнения аналогичны повтору 1. Общее время выполнения цикла не более 10 минут.	Отдых между подходами составлял 20 минут, 10 минут из них являлся пассивным и 10 минут активным, в который входила подготовка дыхательных аппаратов и снаряжения к повторным включениям.
Альт. 1	На первом этапе газодымозащитник выполняет бег 1 минуту со скоростью 6 км/ч с углом подъема, равным 5 % (бег в гору). На втором этапе продолжительность бега составляет 4 минуты, при этом увеличивается скорость работы дорожки до 7 км/ч, но уменьшается угол подъема до 0 %.	На первом этапе газодымозащитник выполняет бег 4 минуты со скоростью 6 км/ч с углом подъема, равным 5 % (бег в гору). На втором этапе продолжительность бега составляет 8 минут при этом увеличивается скорость работы дорожки до 7 км/ч, но уменьшается угол подъема до 0 %. На третьем (заключительном)	Отдых между подходами составлял 10 минут, 5 минут из них являлся пассивным и 5 минут активным, в который входила подготовка дыхательных аппаратов и снаряжения к повторным включениям.

Варианты	Вариация тренировочных циклов		Организация отдыха между циклами
	1 цикл тренировки	2 цикл тренировки	
	Общее время выполнения цикла не более 5 минут	этапе продолжительность выполнения упражнения сокращается до 3 минут с уменьшением скорости работы беговой дорожки до 6 км/ч, угол подъема остается неизменным. Общее время выполнения цикла не более 15 минут.	
Альт. 2	На первом этапе газодымозащитник выполняет бег 4 минуты со скоростью 6 км/ч с углом подъема, равным 5 % (бег в гору). На втором этапе продолжительность бега составляет 8 минут при этом увеличивается скорость работы дорожки до 7 км/ч, но уменьшается угол подъема до 0 %. На третьем (заключительном) этапе продолжительность выполнения упражнения сокращается до 3 минут с уменьшением скорости работы беговой дорожки до 6 км/ч, угол подъема остается неизменным. Общее время выполнения цикла не более 15 минут.	Общее время выполнения повтора должно составлять не более 5 минут. На первом этапе газодымозащитник выполняет бег 1 минуту со скоростью 6 км/ч с углом подъема, равным 5% (бег в гору). На втором этапе продолжительность бега составляет 4 минуты, при этом увеличивается скорость работы дорожки до 7 км/ч, но уменьшается угол подъема до 0 %. Общее время выполнения цикла не более 5 минут.	Отдых между подходами составлял 30 минут, 15 минут из них являлся пассивным и 15 минут активным, в который входила подготовка дыхательных аппаратов и снаряжения к повторным включениям.
Альт. 3	На первом этапе газодымозащитник выполняет бег 6 минут со скоростью 6 км/ч с углом подъема, равным 5 % (бег в гору). На втором этапе продолжительность бега составляет 10 минут, при этом увеличивается скорость работы дорожки до 7 км/ч, но уменьшается угол подъема до 0 %. На третьем (заключительном) этапе продолжительность выполнения упражнения сокращается до 4 минут с уменьшением скорости работы беговой дорожки до 6 км/ч, угол подъема остается неизменным. Общее время выполнения цикла не более 20 минут.	Общее время выполнения повтора должно составлять не более 5 минут. На первом этапе газодымозащитник выполняет бег 1 минуту со скоростью 6 км/ч с углом подъема, равным 5 % (бег в гору). На втором этапе продолжительность бега составляет 4 минуты, при этом увеличивается скорость работы дорожки до 7 км/ч, но уменьшается угол подъема до 0 %. Общее время выполнения цикла не более 20 минут.	Отдых между подходами составлял 40 минут, 20 минут из них являлся пассивным и 20 минут активным, в который входила подготовка дыхательных аппаратов и снаряжения к повторным включениям.

По окончании выполнения упражнения газодымозащитники выключаются из дыхательного аппарата и уходят в место пассивного отдыха. В процессе выполнения упражнения первой подгруппой, вторая подгруппа подготавливает дыхательные аппараты и снаряжение для выполнения упражнения. Во время выполнения упражнения второй подгруппы, третья готовит снаряжение, а первая отдыхает. Во время выполнения упражнения третьей подгруппы, первая подгруппа начинает готовить ДАСВ к повторному включению, а вторая подгруппа проводит пассивный отдых.

Таким образом повторная тренировка представляет собой замкнутый цикл, который заключается в последовательности выполнения заданий – первая подгруппа выполняет упражнение, вторая находится в процессе восстановления работоспособности, третья готовит снаряжение.

При проведении тренировки используются ограничения в виде показателя ЧСС, который должен составлять не более 170 уд/мин, т.к. данное значение пульса считается критерием предельной физической нагрузки [11]. Для

контроля за показателями ЧСС во время тренировки необходимо использовать пульсометры с функцией дистанционной передачи показателей пульса на планшет руководителя занятия.

Результаты исследования и их обсуждение

Для эффективной профессиональной подготовки газодымозащитников и обеспечения их безопасности во время проведения тренировочных занятий необходимо грамотно планировать режим труда и отдыха с учетом их психофизических и индивидуальных возможностей (уровень работоспособности). Таким образом, при планировании тренировочных занятий у газодымозащитников необходимо учитывать не только параметры безопасности ДАСВ, но и индивидуальные человеческие возможности.

Расчет критерия оценки тренировочных занятий у газодымозащитников будет производиться по двум параметрам – «Человеческие способности» и «Защитные возможности дыхательного аппарата» (рис. 1).

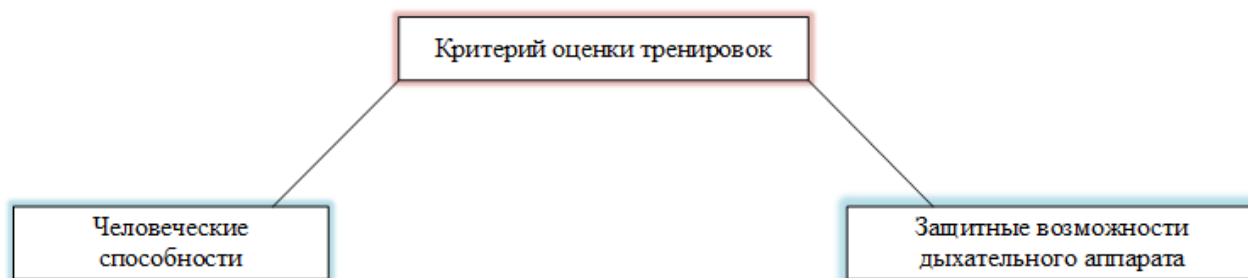


Рис. 1. Структура критерия оценки планирования тренировочных занятий

Критерий «Человеческие способности» (восстанавливаемый критерий) показывает, сможет ли газодымозащитник выполнять тренировочную нагрузку, и достаточно ли он восстановился после первого и последующего цикла тренировки.

Критерий «Защитные возможности дыхательного аппарата» (невосстанавливаемый критерий) показывает, хватит ли газодымозащитнику дыхательных ресурсов в баллоне ДАСВ на все время выполнения тренировочного задания.

Нормированный «восстанавливаемый» критерий рассчитывается для каждого этапа в отдельности (у нас два этапа) по формулам [12,13] (1, 2).

$$L = \frac{1}{1 + S_{\text{чс}}} \quad (1)$$

$$S_{\text{чс}} = \frac{A_H X_1 + B_H X_2 + C_H X_3}{A_B Y_1 + B_B Y_2 + C_B Y_3} \quad (2)$$

где A_H, B_H, C_H – коэффициенты выполнения циклов работ;

A_B, B_B, C_B – коэффициенты восстановления после выполнения циклов работ;

X_1, X_2, X_3 – векторные оценки этапа нагрузки, мин.;

Y_1, Y_2, Y_3 – векторные оценки этапа восстановления, мин.

Формулы для расчета данных коэффициентов приведены в табл. 3.

Таблица 3. Условия расчета критерия планирования по параметру «Человеческие способности»

Обозначение	Формула	Минимум	Максимум	Примечание
A_H $T_{P(1-2)}=T_{P^*}$	$A_H=1 \cdot (X_1/T_{P^*})$	>0	1, так как X_1 по условию не может быть больше T^*	
B_H $T_{P(2-3)}=T_{P^{**}}$	$B_H=2 \cdot (X_2/T_{P^{**}})$	$=0$	2, так как X_1 по условию не может быть больше T^*	A_H+B_H максимально может быть равно 3
C_H	$C_H=3 \cdot (X_3/(T^{***}))$ $T^{***}=T_{P^*}+2 \cdot (T^{**}-T^*)$, но не более 4х	$=0$	4	$A_H+B_H+C_H$ максимально не может быть более 7
A_B $T_{B(3-2)}=T_{B^*}$	$A_B=1 \cdot (Y_1/T_{B^*})$	$=0$	1	
B_B $T_{B(2-3)}=T_{B^{**}}$	$B_B=2 \cdot (Y_2/T_{B^{**}})$	$=0$	2	
C_B	$C_B=3 \cdot (Y_3/(T^{***}))$ $T^{***}=T_{P^*}+2 \cdot (T^{**}-T^*)$, но не более 4	>0	4	$A_B+B_B+C_B$ максимально не может быть более 7

Нормированный критерий планирования по параметру «Человеческие способности» будет иметь значения при следующих условиях:

$L_s > 0$ и $L_s < 0,5$, когда числитель больше, чем знаменатель (нагрузка превышает восстановление);

$L_s = 0,5$: числитель равен знаменателю (нагрузка равна восстановлению);

$L_s > 0,5$ и $L_s < 1,0$, когда числитель меньше, чем знаменатель (нагрузка меньше восстановления).

Нормированный («невосстанавливаемый») критерий «Защитные возможности дыхательного аппарата» рассчитывается также для каждого этапа по отдельности по следующей формулам [12,13] (3, 4).

$$K = \frac{1}{1+W}; \quad (3)$$

$$W = \frac{W_\phi}{W_0}, \quad (4)$$

где W_0 – имеющийся запас ресурса (объем воздуха в баллоне дыхательного аппарата), л;

W_ϕ – прогнозируемый запас ресурса, который будет израсходован в процессе реализации выбранной схемы циклической работы, л.

Расчет фактического расхода дыхательных ресурсов при циклических работах производится по следующей формуле [12, 13] (5):

$$W_\phi = G_n X_1 + G_n X_2 + G_n X_3, \quad (5)$$

где – G_n – расход дыхательных ресурсов в зависимости от тяжести выполнения работ (зависит от индивидуальных особенностей человека), л;

X_1, X_2, X_3 – время нахождения в различных режимах (легкий, средний, тяжелый) выполнения циклических работ, мин.

Оценка риска невыполнения циклической работы при тренировочных занятиях построена на общеизвестном утверждении, что риск является двумерной величиной. Поэтому правила оценки риска неудачи при выполнении циклических работ рассчитываются по формуле [12,13] (6):

$$R = B(L)B(K), \quad (6)$$

где $B(L)$ и $B(K)$ – дискретные функции для балльной оценки критериев выбора.

Вербальные оценки риска представлены в табл. 4.

Правила назначения баллов при оценке риска представлены в табл. 5.

По умолчанию в модели принято: $K^*=L^*=0,5$; $K^{**}=L^{**}=0,6$; $K^{***}=L^{***}=0,75$, но данные значения могут быть изменены на основе практики применения модели [12,13].

Для оценки риска при проведении тренировочных занятий разработана шкала, которая дает оценку выполнения поставленных задач по тушению пожаров или проведению аварийно-спасательных работ, а также выполнению тренировочных упражнений в комплексе по двум параметрам «Человеческие способности» и «Защитные возможности дыхательного аппарата».

Таблица 4. Вербальные оценки риска

Значение риска R	Пренебрежим	Незначительный	Средний	Выше Среднего	Высокий	Недопустимый
Баллы Ri	«9»	«6»	«4»	«3»	«1–2»	«0»

Таблица 5. Правила назначения баллов при оценке риска

K	L	Условие	Баллы (BK)	Значение	Баллы (BL)
K*	L*	$K \in [0; K^*)$	«0»	$L \in [0; L^*)$	«0»
		$K \in [K^*; K^{**})$	«1»	$L \in [L^*; L^{**})$	«1»
K**	L**	$K \in [K^{**}; K^{***})$	«2»	$L \in [L^{**}; L^{***})$	«2»
K***	L***	$K \in [K^{***}; 1)$	«3»	$L \in [L^{***}; 1)$	«3»

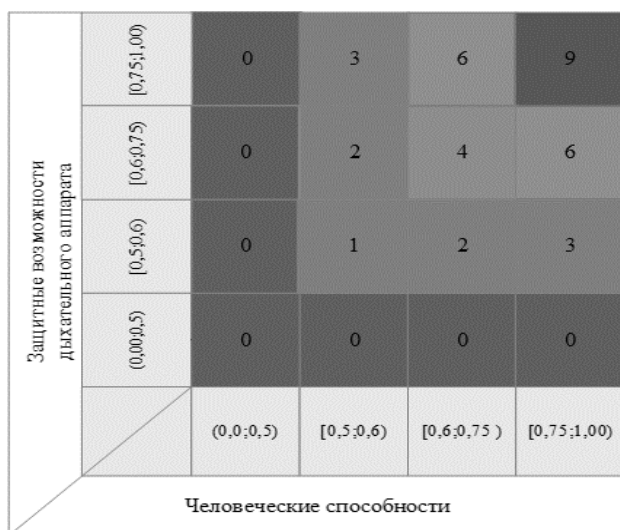


Рис. 2. Шкала оценки риска способности реализации циклических работ на тренировочных занятиях

Шкала оценки риска способности реализации циклических работ на тренировочных занятиях показывает, что если значение риска 9, то риск неудачи проведения тренировки оценивается понятием «Пренебрежим». Если оценка риска 6 или 4, то риск оценивается, как «Незначительный», если оценка риска от 0 до 3, то выполнение циклических упражнений не рекомендовано.

Разработанный критерий для оценки тренировочных занятий позволит эффективно планировать тренировочные занятия газодымозащитников в рамках профессиональной подготовки.

Для практической реализации данного критерия был разработан программный комплекс управления профессиональными рисками при организации проведения циклических работ на тренировочных занятиях у газодымозащитников [14].

Интерфейс программного комплекса представлен на рис. 3.

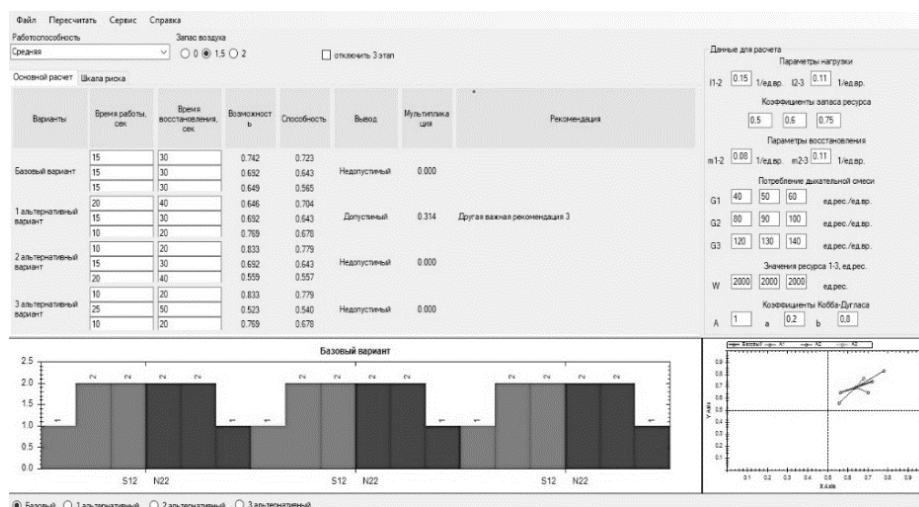


Рис. 3. Интерфейс программного комплекса

Данный программный комплекс предназначен для применения в системе планирования тактики тушения пожаров при выполнении циклических работ в непригодной для дыхания среде (3-х этапный режим), а также для формирования плана профессиональной подготовки пожарных к проведению циклических работ (2-х этапный режим). С помощью моделей динамики режимов работы (нагрузки) и отдыха (восстановления) и дискретно-событийной модели физических состояний программный комплекс с учетом времени восстановления и уровня работоспособности определяет интенсивность переходов из одного режима работы в другой [14]. Графически идентифицируют на циклограмме состояния режимов труда и отдыха при циклических работах. С помощью критерия планирования и по шкале риска оцениваются варианты выполнения циклических работ.

С помощью разработанного программного комплекса проведем анализ оценки риска выполнения предложенных упражнений при тренировочных занятиях. На основе полученных результатов в научной работе [11, 15] в виде массива коэффициентов факторных моделей, рассчитаны исходные данные для дискретно-событийной модели (критерий L) [14]. Для моделирования, полученные исходные

данные по критерию L вводим в разработанный программный комплекс (рис. 4).

В качестве исходных данных по критерию K выбран ДАСВ с объемом баллона ($V_6=6,8$ л) и максимальным давлением в баллоне ($P_{вкл}=300$ атм) при этом давление, необходимое для устойчивой работы редуктора, составляло ($P_{ред}=10$ атм). Объем воздуха, который израсходует каждый из газодымозащитников звена за 45 минут с учетом коэффициента сжимаемости воздуха составит величину 1800 (л), при допущении что средний расход воздуха остается неизменным в процессе работы 40 л/мин.

Блок ввода исходных данных в программном комплексе будет иметь следующий вид (рис. 4).

Важно, что для выбранного варианта проведения упражнений в процессе подготовки пожарных риск должен быть не ниже среднего, то есть допускается средний, пониженный и незначительный. Гарантия успешного выполнения упражнения не ниже высокой (80 %) (8 случаев из 10).

Результаты расчета оценки риска выполнения тренировочных упражнений с учетом вероятности плановой реализации повторных включений газодымозащитниками приведены в табл. 6.

Рис. 4. Ввод исходных данных в программном комплексе

Таблица 6. Сводные данные оценки риска при выполнении упражнения

Варианты	Низкая ($P_n=0,5$; $P_v=0,5$)	Пониженная ($P_n=0,4$; $P_v=0,6$)	Средняя ($P_n=0,3$; $P_v=0,7$)	Высокая ($P_n=0,2$; $P_v=0,8$)	Очень высокая ($P_n=0,1$; $P_v=0,9$)
Высокая работоспособность участников выполнения упражнения					
Базовый	Пренебрежим	Пренебрежим	Незначительный	Недопустимый	Недопустимый
	Пренебрежим	Незначительный	Недопустимый	Недопустимый	Недопустимый
Альтер. 1	Пренебрежим	Пренебрежим	Незначительный	Недопустимый	Недопустимый
	Недопустимый	Недопустимый	Недопустимый	Недопустимый	Недопустимый
Альтер. 2	Незначительный	Незначительный	Средний	Средний	Средний
	Пренебрежим	Пренебрежим	Пренебрежим	Пренебрежим	Средний
Альтер. 3	Незначительный	Незначительный	Средний	Средний	Средний
	Пренебрежим	Пренебрежим	Пренебрежим	Пренебрежим	Незначительный

Средняя работоспособность участников выполнения упражнения					
Базовый	Незначительный	Незначительный	Недопустимый	Недопустимый	Недопустимый
Альтер. 1	Недопустимый	Недопустимый	Недопустимый	Недопустимый	Недопустимый
	Пренебрежим	Недопустимый	Недопустимый	Недопустимый	Недопустимый
Альтер. 2	Средний	Средний	Средний	Средний	Средний
	Пренебрежим	Пренебрежим	Незначительный	Недопустимый	Недопустимый
Альтер. 3	Средний	Средний	Средний	Средний	Средний
	Пренебрежим	Пренебрежим	Незначительный	Средний	Средний

Заключение

На основании проведенного исследования была разработана методика проведения тренировочных занятий и комплекс упражнений для адаптации газодымозащитников к выполнению циклических работ на основе повторного метода тренировки.

В ходе исследования предложен критерий оценки тренировочных занятий газодымозащитников при выполнении циклических работ по двум параметрам «Человеческие способности» и «Защитные возможности дыхательного аппарата».

Список литературы

1. Шкитронов М. Е. Педагогические условия совершенствования подготовки инженеров пожарной безопасности в процессе изучения общепрофессиональных дисциплин в вузах ГПС МЧС России: дис. ... канд. пед. наук: 13.00.08. СПб., 2010. 208 с.
2. Артамонов В. С. Некоторые управленческие вопросы деятельности образовательного учреждения: монография. Иркутск, 1998.
3. Заир-Бек Е. С. Теоретические основы обучения педагогическому проектированию: автореферат дис. ... д-ра пед. наук: 13.00.01. СПб., 1995. 35 с.
4. Самонов А. П. Психологическая подготовка пожарных // М.: Стройиздат, 1982. 79 с. ил.
5. Кошкарров В. С. Психологический климат в коллективе // Современные образования в условиях реформирования: инновации и перспективы: материалы I Всероссийской научно-практической конференции. Красноярск. 2010. С. 172–175.
6. Марьин М. И., Гегель А. Л., Апостолова Л. О. Результаты оценки функционального состояния и работоспособности пожарных // Проблемы пожарной безопасности зданий и сооружений. М.: ВНИИПО. 1990. 243 с.
7. Модель профессионально-прикладной физической подготовки обучающихся образовательных организаций высшего образования МЧС России / Р. М. Шипилов, Е. Е. Маринич, В. А. Смирнов [и др.] // Пожарная и аварийная безопасность. 2022. № 4 (27). С. 136–145.

С помощью программного комплекса управления профессиональными рисками при организации проведения циклических работ на тренировочных занятиях у газодымозащитников получены следующие результаты: для высокой работоспособности участников выполнения упражнения допустимыми вариантами являются альтернатива 2 и 3, в свою очередь для средней работоспособности – альтернатива 3, то есть если в подготовительных группах окажутся участники со средней работоспособностью, то упражнения нужно выполнять только по альтернативному варианту 3.

8. Макаров А. В. Дифференцированная методика физической подготовки курсантов пожарно-спасательной академии: дис. ... канд. пед. наук: 13.00.04. Красноярск, 2019. 169 с.
9. Динаев Б. М. Совершенствование профессионально-прикладной физической подготовки в вузах пожарно-технического профиля: дис. ... канд. пед. наук: 13.00.04. Шуя, 2009. 157 с.
10. Захарова В. В. Развитие выносливости у студентов 1-3 курсов, занимающихся на специализации «Легкая атлетика»: практикум. Ульяновск: УлГТУ, 2016. 46 с.
11. Экспериментальная модель восстановления газодымозащитников с учётом уровня работоспособности и повторности тренировочных нагрузок / Д. Н. Шалявин, Е. А. Шмелева, А. Д. Ищенко [и др.] // Технологии техносферной безопасности. 2022. № 4 (98). С. 79–95. DOI: 10.25257/TTS.2022.4.98.79-95. EDN: NPUXJF.
12. Шалявин Д. Н. Оценка реализации тактических задач пожарных подразделений в процессе выполнения повторных работ при тушении крупных пожаров // Современные проблемы гражданской защиты. 2024. № 2 (51). С. 101–107. EDN: WRWZJD.
13. Оценка профессионального риска выполнения повторных включений газодымозащитниками при планировании действий по тушению пожара / Д. Н. Шалявин, А. О. Семенов, Д. В. Тараканов [и др.] // Технологии техносферной безопасности. 2024. № 2 (104). С. 199–212. DOI: 10.25257/TTS.2024.2.104.199-212. EDN: DCWGLM.
14. Программный комплекс для анализа режимов выполнения повторных работ при

тушении пожаров на объектах текстильной промышленности / Д. Н. Шалыavin, А. О. Семенов, Д. В. Тараканов [и др.] // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2024. № 3 (411). С. 225–234. DOI: 10.47367/0021-3497_2024_3_225. EDN: SKZTAE.

15. Методика формирования безопасных режимов работы газодымозащитников с учетом мониторинга пульсовых зон / Д. Н. Шалыavin, Е. А. Шмелева, Д. В. Тараканов [и др.] // Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2021. Т. 13, № 4. С. 251–272. DOI: 10.12731/2658-6649-2021-13-4-251-272. EDN: MGIFTU.

References

1. Shkitronov M. Ye. Pedagogicheskiye usloviya sovershenstvovaniya podgotovki inzhenerov pozharnoy bezopasnosti v protsesse izucheniya obshcheprofessional'nykh distsiplin v vuzakh GPS MCHS Rossii. Diss. kand. ped. nauk [Pedagogical conditions for improving the training of fire safety engineers in the process of studying general professional disciplines in universities of the State Fire Service of the Ministry of Emergency Situations of Russia. Cand. ped. sci. diss.]. SPb., 2010. 208 p.
2. Artamonov B. C. *Nekotoryye upravlencheskiye voprosy deyatel'nosti obrazovatel'nogo uchrezhdeniya: monografiya* [Theoretical foundations of teaching pedagogical design: monograph]. Irkutsk, 1998.
3. Zair-Bek Ye. S. Teoreticheskiye osnovy obucheniya pedagogicheskomu proyektirovaniyu: avtoreferat diss. d-ra ped. nauk [Theoretical foundations of teaching pedagogical design. Abstract of Dr. ped. sci. diss.]. SPb., 1995. 35 p.
4. Samonov A. P. *Psikhologicheskaya podgotovka pozharnykh* [Psychological training of firefighters]. Moscow: Stroyizdat, 1982. 79 p.
5. Koshkarov B. C. *Psikhologicheskii klimat v kollektive* [Psychological climate in the team]. *Sovremennyye obrazovaniya v usloviyakh reformirovaniya: innovatsii i perspektivy: materialy I Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii*. Krasnoyarsk, 2010, pp. 172–175.
6. Mar'in M. I., Gegel' A. L., Apostolova L. O. Rezul'taty otsenki funktsional'nogo sostoyaniya i rabotosposobnosti pozharnykh [The results of assessing the functional state and performance of firefighters]. *Problemy pozharnoy bezopasnosti zdaniy i sooruzheniy*. Moscow: VNIPO, 1990, 243 p.
7. Model' professional'no-prikladnoy fizicheskoy podgotovki obuchayushchikhsya obrazovatel'nykh organizatsiy vysshego obrazovaniya MCHS Rossii [The model of professionally applied physical training of students of educational institutions of higher education of the Ministry of Emergency Situations of Russia] / R. M. Shipilov, E. E. Marinich, V. A. Smirnov [et al.]. *Pozharnaya i avariynaya bezopasnost'*, 2022, vol. 4 (27), pp. 136–145.
8. Makarov A. V. *Differentsirovannaya metodika fizicheskoy podgotovki kursantov pozharno-spasatel'noy akademii*. Diss. kand. ped. nauk [Differentiated methodology of physical training of cadets of the Fire and Rescue Academy. Cand. ped. sci. diss.]. Krasnoyarsk, 2019. 169 p.
9. Dinayev B. M. *Sovershenstvovaniye professional'no-prikladnoy fizicheskoy podgotovki v vuzakh pozharno-tekhnicheskogo profilya*. Diss. kand. ped. nauk [Improvement of professional-applied physical training in higher education institutions of fire-technical profile. Cand. ped. sci. diss.]. Shuya, 2009. 157 p.
10. Zakharova V. V. *Razvitiye vynoslivosti u studentov 1-3 kursov, zanimayushchikhsya na spetsializatsii «Legkaya atletika»: praktikum* [Development of endurance in 1st-3rd year students majoring in Track and Field: practical training]. Ul'yanovsk: UISTU, 2016. 46 p.
11. Eksperimental'naya model' vostanovleniya gazodymozashchitnikov s uchotom urovnya rabotosposobnosti i povtornosti trenirovochnykh nagruzok [Experimental model for the restoration of gas and smoke protectors taking into account the level of performance and repetition of training loads] / D. N. Shalyavin, E. A. Shmeleva, A. D. Ishchenko [et al.]. *Tekhnologii tekhnosfernoy bezopasnosti*, 2022, vol. 4(98). pp. 79–95. DOI: 10.25257/TTS.2022. 4.98.79-95. EDN: NPUXJF.
12. Shalyavin D. N. Otsenka realizatsii takтических zadach pozharnykh podrazdeleniy v protsesse vypolneniya povtornykh rabot pri tushenii krupnykh pozharov [Evaluation of the implementation of tactical tasks of fire departments in the process of performing repeated work when extinguishing large fires]. *Sovremennyye problemy grazhdanskoy zashchity*, 2024, vol. 2 (51), pp. 101–107. EDN: WRWZJD.
13. Otsenka professional'nogo riska vypolneniya povtornykh vklyucheniye gazodymozashchitnikami pri planirovanii deystviy po tusheniyu pozhara [Assessment of the professional risk of performing repeated switching on by gas and smoke protection workers when planning fire extinguishing actions] / D. N. Shalyavin, A. O. Semenov, D. V. Tarakanov [et al.]. *Tekhnologii tekhnosfernoy bezopasnosti*, 2024, vol. 2 (104), pp. 199–212. DOI: 10.25257/TTS. 2024.2.104.199-212. EDN: DCWGLM.
14. Programmnyy kompleks dlya analiza rezhimov vypolneniya povtornykh rabot pri tushenii pozharov na ob'yektakh tekstil'noy promyshlennosti [Software package for analysis of modes of execution of repeated works during fire extinguishing at textile industry facilities] / D. N. Shalyavin, A.

O. Semenov, D. V. Tarakanov [et al.]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Tekhnologiya tekstil'noy promyshlennosti*, 2024, vol. 3 (411), pp. 225–234. DOI: 10.47367/0021-3497_2024_3_225. EDN SKZTAE.

15. Metodika formirovaniya bezopasnykh rezhimov raboty gazodymozashchitnikov s uchetom monitoringa pul'sovykh zon [Methodology

for the formation of safe operating modes for gas and smoke protection personnel taking into account the monitoring of pulse zones] / D. N. Shalyavin, E. A. Shmeleva, D. V. Tarakanov [et al.]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Tekhnologiya tekstil'noy promyshlennosti*, 2021, vol. 13, issue 4, pp. 251–272. DOI: 10.12731/2658-6649-2021-13-4-251-272. EDN: MGIFTU.

Шалыavin Денис Николаевич

Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,
Российская Федерация, г. Иваново
кандидат технических наук, старший преподаватель
E-mail: sharap1897@rambler.ru

Shaliavin Denis 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, senior lecturer
E-mail: sharap1897@rambler.ru

Шипилов Роман Михайлович

Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,
Российская Федерация, г. Иваново
кандидат педагогических наук, доцент, заместитель начальника кафедры
E-mail: rim-sgpu@rambler.ru

Shipilov Roman Mihailovich

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, associate professor, deputy head of department
E-mail: rim-sgpu@rambler.ru

Новиков Александр Михайлович

Академия Государственной противопожарной службы МЧС России,
Российская Федерация, г. Москва
кандидат педагогических наук, доцент кафедры
E-mail.ru: R.Sabanchina@academygps.ru

Novikov Alexander Mikhailovich

Academy of State Fire Service of EMERCOM of Russia,
Russian Federation, Moscow
candidate of pedagogical sciences, associate professor of the department
E-mail.ru: R.Sabanchina@academygps.ru

Сабанчина Раиля Раиловна

Академия Государственной противопожарной службы МЧС России,
Российская Федерация, г. Москва
преподаватель-методист
E-mail.ru: R.Sabanchina@academygps.ru

Sabanchina Railya Railovna

Academy of State Fire Service of EMERCOM of Russia,
Russian Federation, Moscow
teacher-methodologist
E-mail.ru: R.Sabanchina@academygps.ru

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ (ТЕХНИЧЕСКИЕ И ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ)
ECOLOGICAL SAFETY (TECHNICAL AND CHEMICAL)

УДК 504.3.054

**ОЦЕНКА НЕГАТИВНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ МЕЛКОДИСПЕРСНОЙ ПЫЛИ
НА ГОРОДСКУЮ ТЕРРИТОРИЮ ОТ ТОЧЕЧНОЙ ЗАСТРОЙКИ**

С. Е. МАНЖИЛЕВСКАЯ

Донской государственный технический университет,
Российская Федерация, г. Ростов-на-Дону
E-mail: smanzhilevskaya@yandex.ru

В настоящее время проблема загрязнения воздуха в городах приобретает глобальный масштаб и становится предметом все более серьезного внимания специалистов. Интенсивное развитие строительной индустрии и применение новых технологий, ускоряющих процесс возведения зданий и сооружений, приводят к серьезному ухудшению качества атмосферного воздуха, особенно в городских районах. Это подчеркивает важность проведения всестороннего анализа пылевого загрязнения PM_{2.5} и PM₁₀ от точечной застройки и оценки его негативного воздействия на городскую территорию. Необходимо выявить все факторы, влияющие на уровень пылевого загрязнения на строительных объектах, и изучить механизмы распространения пыли в городской среде с учетом уже существующего уровня загрязнения, который зависит от конкретных климатических, природных и топографических особенностей данной территории.

Цель данного исследования заключается в проведении всесторонней оценки пылевых частиц, образующихся в процессе строительства в черте города. Это необходимо для обоснования технической и экономической целесообразности выбора наиболее эффективных технологических решений по контролю за выбросами пыли PM₁₀ и PM_{2.5} за пределы строительной площадки на территории города. Объектом оценки негативного воздействия PM_{2.5} и PM₁₀ в городской среде от точечной застройки стала строительная площадка станционного комплекса «Новаторская» (вестибюль № 1) в г. Москва.

Результаты исследования подтвердили значительное превышение допустимых максимально разовых концентраций PM₁₀, которые были выше нормы в 1.75 раза, достигая в пиковые моменты 526.6 мкг/м³. В процессе реализации работ по сносу зданий, разработки котлована и устройству фундамента наблюдалось превышение показателя максимально разовой концентрации PM_{2.5} до 181.4 мкг/м³, что указывает на высокий уровень загрязнения воздуха городской территории, прилегающей к строительной площадке. Эти данные подтверждают необходимость усиления экологического контроля в городских районах активного строительства, в том числе, ужесточение мер по контролю за чистотой воздуха и активное внедрение стратегий по минимизации воздействия загрязнителей на здоровье населения.

Ключевые слова: мелкодисперсная пыль, загрязнение воздушной среды, пылевое загрязнение, экологическая безопасность городских территорий, оценка экологических рисков, строительная пыль.

**ASSESSMENT OF THE NEGATIVE IMPACT OF FINE DUST ON URBAN TERRITORY
FROM POINT DEVELOPMENT**

S. E. MANZHILEVSKAYA

Federal State Budget Educational Establishment of Higher Education «Don State Technical University»,
Russian Federation, Rostov-on-Don
E-mail: smanzhilevskaya@yandex.ru

Currently, the problem of air pollution in cities is acquiring a global scale and is becoming the subject of increasing serious attention by specialists. The intensive development of the construction industry and the use of new technologies that accelerate the construction of buildings and structures lead to a serious deterioration in the quality of atmospheric air, especially in urban areas. This underlines the importance of conducting

a comprehensive analysis of dust pollution PM_{2.5} and PM₁₀ from point-pattern construction development and assessing its negative impact on the urban area. It is necessary to identify all the factors influencing the level of dust pollution at construction sites and to study the mechanisms of dust distribution in the urban environment, taking into account the existing level of pollution, which depends on the specific climatic, natural and topographic features of the given territory. The purpose of this study is to conduct a comprehensive assessment of dust particles generated during construction in the urban environment. This is necessary to substantiate the technical and economic feasibility of choosing the most effective technological solutions for controlling PM₁₀ and PM_{2.5} dust emissions outside the construction site in the city. The object of the assessment of the negative impact of PM_{2.5} and PM₁₀ in the urban environment from point-pattern construction development was the construction site of the subway station «Innovatorskaya» in Moscow. The results of the study confirmed a significant excess of the permissible maximum single concentrations of PM₁₀, which were 1.75 times higher than normal, reaching 526.6 µg/m³ at peak moments. During the demolition of buildings, excavation and foundation construction, the maximum single concentration of PM_{2.5} was exceeded to 181.4 µg/m³, which indicates a high level of air pollution in the urban area adjacent to the construction site. These data confirm the need to strengthen environmental control in urban areas of active construction, including stricter air quality control measures and active implementation of strategies to minimize the impact of pollutants on public health.

Key words: fine dust, air pollution, dust pollution, environmental safety of urban areas, environmental risk assessment, construction dust.

Введение

В настоящее время проблема загрязнения воздуха в городах приобретает глобальный масштаб и становится предметом все более серьезного внимания специалистов [1]. Интенсивное развитие строительной индустрии и применение новых технологий, ускоряющих процесс возведения зданий и сооружений, приводят к серьезному ухудшению качества атмосферного воздуха, особенно в городских районах [2]. Разнообразные строительные операции, начиная с земельных работ и заканчивая отделкой, включая подготовку цементных растворов и благоустройство территории, приводят к значительной выработке пылевых частиц [3].

Исследования показывают, что мелкодисперсные частицы PM₁₀ и особенно PM_{2.5}, проникая в органы дыхания, могут способствовать развитию хронических респираторных заболеваний [4]. Поэтому важное значение приобретает обеспечение экологической безопасности в городской атмосфере, являющееся одним из ключевых приоритетов современных исследований.

Современное точечное строительство в условиях плотной городской застройки требует особого внимания к соблюдению экологических стандартов [5]. Анализ уровня пылевого загрязнения, постоянный мониторинг пылевых выбросов, выбор и обоснование технологических решений, направленных на снижение распространения пылевых выбросов за пределы строительной площадки, играют критическую роль в минимизации воздействия твердых взвешенных частиц на качество воздуха на протяжении всего процесса строительства [6].

Для улучшения экологической ситуации в городах необходимо применять комплексный подход. Проблема борьбы со строительной

пылью привлекла внимание многих ученых, которые предложили разнообразные решения. Научные коллективы из различных стран, включая Корею, Великобританию, США, Китай и Европу, достигли значительных успехов в снижении уровня пылевого загрязнения в атмосфере. Ученые активно исследуют проблему строительной пыли в урбанистических зонах, а специалисты из Китая глубоко изучают интенсивность и концентрацию пылевых выбросов во время строительных работ [7–13].

Новейшие методы исследования значительно углубили наше понимание процессов распространения строительной пыли в густонаселенных районах, что имеет важное значение для крупных городов с высокой плотностью населения [14]. Научные исследования в области изучения мелкодисперсной пыли и пылевых выбросов в строительстве привлекли внимание многих российских ученых, включая Азарова В. Н. [15, 16], Сидельникову О.Е. [17], Стреляева А.Б. [18], Теличенко В. И. [19], Мензелинцеву Н.В. [20], Кошкарёва С.А. [21], Ильичева В.А. [22], Колчунова В.И. [23], Бакаева Н.В. [24], Ложкину О.В. [25], Богуславского Е.И. [26] и других. Однако строительная отрасль стремительно развивается, что приводит к возникновению множества строительных объектов в условиях густой городской застройки.

В современных крупных городах активно возводятся здания различной высоты, объекты инфраструктуры, включая метрополитен, постепенно принося свой вклад в общий уровень пылевой загрязненности городской территории. Это подчеркивает важность проведения всестороннего анализа физико-химических свойств частиц PM₁₀ и PM_{2.5} в качестве потенциальных источников загрязнения. Необходимо выявить все факторы, влияющие на

уровень пылевого загрязнения на строительных объектах, и изучить механизмы распространения пыли в городской среде. Это требует учета уже существующего уровня загрязнения, который зависит от конкретных климатических, природных и топографических особенностей данной территории.

Цель данного исследования заключается в проведении всесторонней оценки пылевых частиц, образующихся в процессе строительства в городской среде. Это необходимо для обоснования технической и экономической целесообразности выбора наиболее эффективных технологических решений по контролю за выбросами пыли PM10 и PM2.5 за пределы строительной площадки на территории города. Систематизация и классификация различных типов строительной пыли по их физико-химическим свойствам позволят создать справочник, который станет важным инструментом для проектировщиков при выборе оптимальных систем



очистки воздуха от пыли и разработке защитных мероприятий на основе детального анализа характеристик строительных пылевых загрязнений.

Материал и методы исследования

Москва – административная столица Российской Федерации с активно развивающимся сектором точечной застройки и расширением объемов реализации объектов инфраструктуры, таких как метрополитен. С учетом высокой плотности населения и интенсивного строительства, наблюдается увеличение пылевого загрязнения в атмосфере, включая PM2.5 и PM10 [27]. Объектом оценки негативного воздействия PM2.5 и PM10 в городской среде от точечной застройки в данном исследовании стала строительная площадка станционного комплекса «Новаторская» (вестибюль № 1) в г. Москва, рис. 1.



Рис.1. Строительная площадка вестибюля №1 станционного комплекса «Новаторская» в г. Москва.

Отбор проб пылевого загрязнения PM2.5 и PM10 проводился на городской территории, граничащей со строительной площадкой в период с мая по август 2023 года дважды в неделю по 120 мин с помощью электронного аспиратора PU-3E/12 со специальными фильтрами, изготовленными из перхлорвиниловых волокон площадью 10 см² при производстве работ по сносу наземных сооружений, разработке котлована, устройству фундамента под вестибюль согласно ГОСТ Р 58577-2019¹. Фильтры, использованные для отбора проб, первоначально стабилизировались по весу до внесения в специальные держатели IRA-10. Эти держатели обеспечивали точность измерений концентрации загрязняющих веществ в воздухе. После

снятия показаний массы (m), каждый фильтр помещали в соответствующий бумажный пакет, на который предварительно наносили идентификационный номер и вес образца с точностью до 0.1 мг. Для предотвращения загрязнения образца, хранение фильтров происходило при температуре +25 °С в чистом помещении. Прежде чем приступить к взвешиванию, фильтры выдерживали в лаборатории в течение 24 ч после получения их с мест отбора проб. Пока масса высушенных образцов не зафиксировалась на одном уровне, их взвешивание проводилось многократно. Во время отбора проб для анализа частиц пыли, контролировались метеорологические данные, включая влажность (W , %), температуру (t , °С) и скорость движения

¹ ГОСТ Р 58577-2019. Правила установления нормативов допустимых выбросов загрязняющих веществ проектируемыми и действующими хозяйствующими

субъектами и методы определения этих нормативов. М.: АО «НИИ Атмосфера». 2019. 16 с.

воздушного потока (V , м/с). Во время отбора образцов погодные условия были преимущественно следующие: $t = +20-25\text{ }^{\circ}\text{C}$, $W = 30-40\%$, $V = 3-5\text{ м/с}$, осадки и другие искусственные источники влаги не влияли на условия эксперимента.

Собранные образцы были затем отправлены в научную лабораторию для анализа концентрации пылевых выбросов, реализуемых в ходе проведения исследуемых строительных процессов, и физико-химических свойств строительной пыли. Исследования включали оценку морфологического состава частиц, дисперсии (d_{50}), удельной площади поверхности (S_{ss} ,

$\text{см}^2/\text{г}$), плотности (ρ , кг/м^3), динамического угла естественного откоса (α_{SA} , градусы), адгезии (σ , Па), коэффициента абразивности K_{AB} , удельного электрического сопротивления пыли (ER , Ом $\times$ м), химического состава, гигроскопичности (φ_{DUST} , %) и смачиваемости пыли Wet (%).

На основании полученных результатов о характере пылевого загрязнения PM2.5 и PM10 от строительных работ была выполнена оценка экологических рисков негативного воздействия PM2.5 и PM10 городской территории, загрязняемой в результате строительной деятельности разработанной системой индикаторов, представленной на рис. 2.

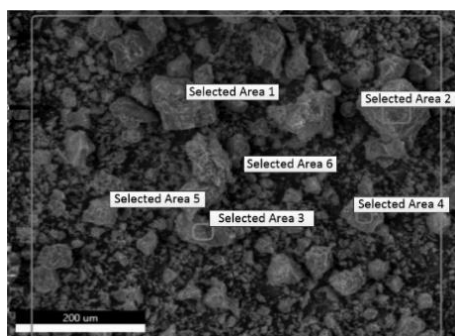
	Коэффициент геоаккумуляции I_{geo} – показатель оценки концентрации загрязнителя (химического элемента) C_i в образце и общей концентрации воздушной среды исследуемой территории C_{total} $I_{geo} = \log_2 \left[\frac{C_i}{1.5 \times C_{total}} \right]$ менее 0 – нет загрязнения 0-1 – незначительный 1-2 – умеренный 2-3 – умеренный или сильный 3-4 – сильный 4-5 – сильный или критичный более 5 – критичный
	Коэффициент загрязнения K_p – показатель отношения концентрации исследуемого химического элемента к общей концентрации данного элемента в воздухе исследуемой территории C_n $K_p = \frac{C_i}{C_n}$ менее 1 – низкий 1-3 – умеренный 3-6 – значительный более 6 – критичный
	Коэффициент экологического риска E_r дает оценку потенциальной экологической опасности загрязняющего вещества в определённой воздушной среде R $E_r = \frac{R}{K_p}$ менее 10 – низкий 10-20 – умеренный 20-40 – значительный 40-80 – высокий более 80 – очень высокий R: PM2.5=50, PM10=50
	Коэффициент экологической нагрузки PLI, который определяет степень изменения воздушной среды за счет суммарного негативного воздействия загрязнителей n $PLI = (K_{p1} \times K_{p2} \times \dots \times K_{pn})^{1/n}$ менее 0 – отсутствие 0-1 – допустимый более 1 – высокий
	Вероятность неблагоприятных последствий для окружающей среды городской территории RI $RI = \frac{n}{N}$ $< 0,1 = < 10\%$ – слабовероятно $0,1-0,4 = 10-40\%$ – маловероятно $0,4-0,6 = 40-60\%$ – вероятно $0,6-0,9 = 60-90\%$ – весьма вероятно $> 0,9 = > 90\%$ – возможно где n – число случаев превышения максимальной концентрации PM2.5 и PM10, N – общее число проб в период реализации строительного производства.

Рис. 2. Система оценки негативного воздействия PM2.5 и PM10 городской территории

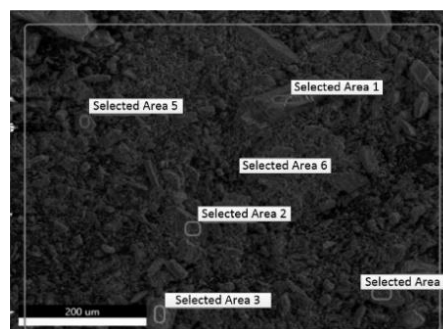
Применялись два основных вида показателей для анализа загрязнений PM2.5 и PM10: первый включает в себя коэффициенты, такие как I_{geo} , K_P и E_r , которые фокусируются на изучении PM2.5 и PM10, второй вид – комплексные показатели PLI и RI загрязнения территории, прилегающей к строительной площадке и его возможных последствий для здоровья.

Результаты исследования и их обсуждение

При выполнении строительных работ (снос наземных сооружений, разработка котлована, устройство фундамента) возникают различные типы пылевых частиц, которые можно классифицировать на 3 группы по размеру и физико-химическим свойствам (1 группа – 0,5–10 мкм, 2 группа – 10–50 мкм, 3 группа – 50–150 мкм).



1



2

Рис. 3. Изображения частиц пыли, полученные с помощью микроскопического сканирования: (1) цементная пыль; (2) гипсовая пыль

При морфологическом исследовании строительной пыли были выявлены три типа частиц, отличающихся формой и размерами. Некоторые частицы обладали плоскостной структурой, с преимущественно двумерными размерами, в то время как другие имели равномерное распределение размеров во всех направлениях, формируя как правильные, так и искажённые сферические или многогранные формы. В пыли также присутствуют элементы с волокнистой или пластинчатой структурой, что связано с их кристаллической природой. Отчетливо прослеживается, как от метода обработки строительного материала зависит форма частиц: они могут быть как острыми, так и с закругленными гранями – это определяется шлифовкой или измельчением соответственно.

При анализе химического состава строительной пыли, были выявлены различные

Исследования на микроскопическом уровне выявили, что частицы строительной пыли заметно отличаются по плотности, не склонны к скоплению. Эти частицы, обладающие темным оттенком и твердой поверхностью, напоминают по внешнему виду острые каменные осколки и отличаются блестящей поверхностью. Для исследования самых мелких из них, размером меньше 0,1 мкм, применялась электронная микроскопия, так как эти частицы активно участвуют в броуновском движении. В то время как более крупные, размером от 0,1 до 20 мкм, можно изучить с использованием стандартного микроскопа – эти частицы характеризуются медленным оседанием.

Частицы строительной пыли, как видно из рис. 3, обладают грубой и неоднородной структурой, что типично для измельченных твердых материалов. Формы частиц пыли весьма разнообразны.

оксидные соединения. Среди них присутствуют оксиды таких элементов, как натрий, калий, а также серные соединения в форме SO_2 и SO_3 . Основную часть составляют металлические оксиды, включая оксиды железа (Fe_2O_3), марганца (MnO), магния (MgO) и алюминия (Al_2O_3). Дополнительно, в пыли найдены фосфаты в форме P_2O_5 , кальциевые соединения в форме CaO .

В результате лабораторных анализов был разработан детальный атлас строительной пыли, который классифицирует частицы по размерам и помогает понимать их происхождение. В отношении различных типов пылевых загрязнений были разработаны спецификации, которые включают детализированные данные характеристики строительной пыли, представленные на рис. 4.

ЦЕМЕНТНАЯ ПЫЛЬ						
Цементный материал для раствора – цементная пыль. Проба отобрана на процессе бетонирования фундамента : $t=25^{\circ}\text{C}$, $C=76 \text{ мг/м}^3$, $V=3 \text{ см/сек}$, $W=60\%$.						
МОРФОЛОГИЯ ЧАСТИЦ ПЫЛИ						
В проходящем свете можно увидеть мелкие частицы, которые имеют серовато-белую окраску. Они достигают размеров до 40 мкм. Большинство из них – это частицы серого цвета с диаметром до 25 мкм. Общая масса пыли имеет темно-серый оттенок.						
ДИСПЕРСНЫЙ СОСТАВ ПЫЛИ						
$d, \text{мкм}$	0.5	1	2.5	5	10	
$g, \text{масс. \%}$	88	76	79	85	96	
$V, \text{см/сек}$	0.02	0.5	1	2	3	
$d_{50}=12 \text{ мкм}$, $\delta=2.45$, $S_{уд}=3545 \text{ см}^2/\text{г}$.						
МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПЫЛИ						
$\rho=2680 \text{ кг/м}^3$	$\rho_{н.у.}=972 \text{ кг/м}^3$	$\rho_{м.у.}=1083 \text{ кг/м}^3$	$k_{аб}=2.8 \times 10^{-11}$			
$\alpha_{лин}=39^0$	$\alpha_{ст}=52^0$	$\sigma=40 \text{ Па}$	$Wet=98\%$			
УДЕЛЬНОЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ ПЫЛИ ПРИ РАЗНЫХ ТЕМПЕРАТУРАХ						
$УЭС, \text{Ом}\cdot\text{м}$	1.5×10^{10}	6×10^{10}	4.3×10^{10}	3.4×10^{10}	2.1×10^{10}	$max \text{ УЭС}$
$t, ^{\circ}\text{C}$	50	100	150	200	250	6.1×10^{10}
						118
ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ПЫЛИ						
Компонент	CaO	MgO	P ₂ O ₅	SiO ₂	Al ₂ O ₃	SO ₃
B, масс. %	48.2	1.4	1	27.2	3.2	19
$pH=8$						
РАВНОВЕСНАЯ ВЛАЖНОСТЬ ПЫЛИ $\varphi_{п}$ ПРИ РАЗЛИЧНОЙ ВЛАЖНОСТИ ВОЗДУХА $\varphi_{в}$						
$\varphi_{п}, \%$	0.7	1	1.3	1.4	2.9	
$\varphi_{в}, \%$	20	40	60	80	95	

Рис. 4. Спецификация пылевого загрязнения, цементная пыль

С помощью программы УПРЗА «Эколог» 4.60.6, проведена оценка уровня воздействия пылевых выбросов от строительства метрополитена на качество воздуха в жилом районе г. Москва. Оценка учитывала как метеорологические условия, так и фоновую концентрацию в жилой зоне, которые помогают определить распространение загрязнителей PM_{2.5} и PM₁₀ в атмосфере. Исследуемая территория охватывала площадь 200 на 220 м, разделенную на сетку с ячейками по 20 м в каждую сторону. Уровень загрязнения был проверен на соответствие ПДК (предельно допустимых концентраций) посредством четырех контрольных точек, где проходили строительные работы в жилой зоне, представленные в табл. 1.

Результаты моделирования показали, что в течение анализируемого периода (май-август 2023 года) масса пылевых выбросов PM_{2.5} и PM₁₀ в указанных локациях достигнет 2,904385 т/год.

В табл. 2 представлены данные о максимально разовой концентрации PM_{2.5} и

PM₁₀ – C_i , мг/м³, которые были получены в период с мая по август 2023 года на городской территории в результате отбора проб.

В ходе строительных работ на городской территории было зафиксировано три периода значительного увеличения показателей максимально разовой концентрации PM₁₀, превышающих установленные нормы ПДК (PM₁₀ – 300 мг/м³) в 1.75 раза – 526.6 мг/м³. Эти пики превышения нормативного показателя пылевого загрязнения произошли в середине мая, июня и в конце июля и были связаны с различными этапами строительных работ: в мае проводились работы по сносу зданий, в июне – работы по разработке грунта, в июле – сварка арматуры для фундамента. Общий анализ показал, что в исследуемый период строительства среднее значение максимально разовых концентраций PM₁₀ превышал ПДК на 55 % (465 мг/м³) из-за активного движения транспорта, задействованного в погрузке и вывозе строительного мусора, грунта, а также доставке материалов на стройплощадку.

Таблица 1. Координаты расчетных точек

Код	Координаты, м		Высота, м	Тип точки
	X	Y		
1.	463.921	1568.975	6	на границе жилой зоны
2.	381.587	1726.937	6	на границе жилой зоны
3.	202.267	1516.832	6	на границе жилой зоны
4.	335.835	1404.159	6	на границе жилой зоны

Таблица 2. Данные измерения максимально разовой концентрации PM2.5 и PM10 в воздушной среде городской территории, прилегающей к строительной площадке в период проведения строительных работ

2023 г.							
C _i , мкг/м ³							
май		июнь		июль		август	
PM2.5	PM10	PM2.5	PM10	PM2.5	PM10	PM2.5	PM10
162.1	390.2	165.2	474.1	162.5	461.3	160.5	468.2
162.8	461.3	165.4	469.5	166.4	468.5	158.4	458.6
171.4	471.2	161.3	454.2	167.4	462.2	152.2	411.2
181.4	520.6	163.2	449.5	167.4	462.1	152.2	412.1
164.2	480.2	180.4	526.3	179.5	506.8	138.4	405.6
165.1	472.3	180.6	526.6	181.4	520.8	132.4	402.6
164.2	474.2	181.2	526.6	181.4	522.2	132.1	390.2
162.3	471.4	162.1	472.4	178.7	494.8	132.7	392.8

Среднее значение показателей максимально разовой концентрации PM2.5 за период наблюдений в целом не превышало ПДК (PM2.5 – 160 мкг/м³) – 163 мкг/м³. Однако в период интенсивной работы строительной техники, задействованной в разборке сооружений (май), разработки котлована (вторая половина июня) и сварки арматуры значения концентрации PM2.5 превысили ПДК на 13 % – 181.4 мкг/м³, подтверждая негативное воздействие пылевого загрязнения на воздушную среду городской

территории. Динамику негативного воздействия PM2.5 и PM10 можно увидеть на рис. 5.

В табл. 3 представлены данные об оценке экологических рисков, возникающих в результате ухудшения качества воздуха в городском районе, где происходит активное строительство. Для данной территории индекс экологической нагрузки *PLI* достиг значения 2.48. Вероятность негативного воздействия на окружающую среду городской территории составляет $RI = 0,78 = 78 \%$.

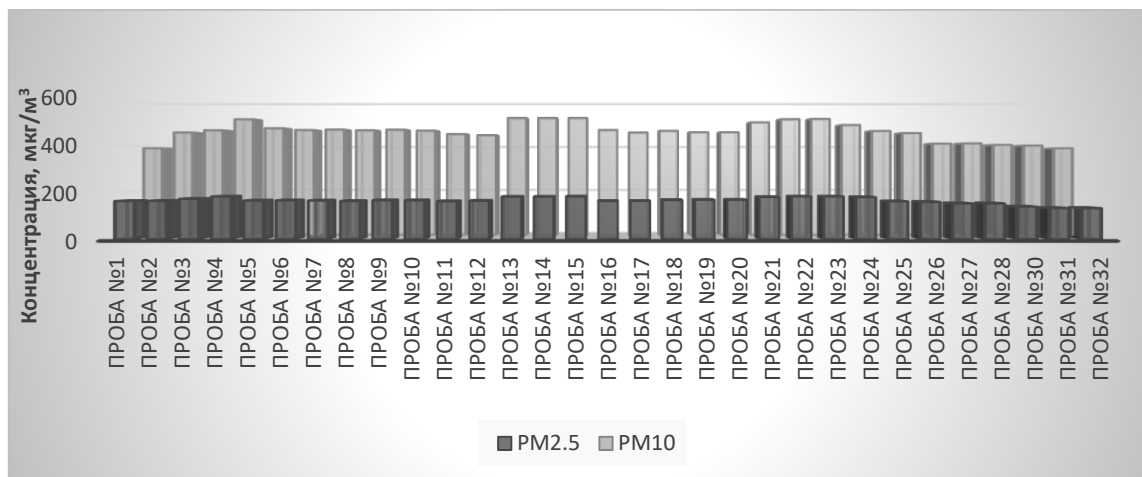


Рис. 5. Динамика негативного воздействия PM2.5 и PM10 на городскую территорию от строительства станционного комплекса «Новаторская» в г. Москва

Таблица 3. Результаты оценки экологических рисков

	<i>I_{geo}</i>			<i>K_p</i>			<i>E_r</i>			<i>PLI</i>			<i>RI</i>		
	Min	Max	Mean	Min	Max	Mean	Min	Max	Mean	Min	Max	Mean	Min	Max	Mean
PM 2.5	1	2	1.5	1	2	3	25	50	37.5						
PM10	2	5	3.5	2.2	4.2	3.2	11.9	22.7	17.3	1.5	2.48	1.99	0,42	0,78	0,6

По результатам оценки экологических рисков негативного воздействия пылевого загрязнения PM_{2.5} и PM₁₀ от строительной деятельности на городской территории, выявлено, что реализация строительных процессов приводит к резкому увеличению экологического риска на территории, где проводились измерения, с вероятностью 78 % (25 из 32 отобранных проб показывали превышение максимально разовой концентрации). Такие показатели отрицательно сказываются на местной экосистеме и здоровье жителей, создавая серьезные риски из-за воздействия вредных веществ. Ситуация требует немедленного принятия защитных мер для минимизации воздействия на окружающую среду и здоровье населения.

Выводы и заключение

Оценка негативного воздействия PM_{2.5} и PM₁₀ в городской среде от точечной

застройки подтвердила значительное превышение допустимых максимально разовых концентраций пыли PM₁₀, которые были выше нормы в 1.75 раза, достигая в пиковые моменты 526.6 мкг/м³. В процессе реализации работ по сносу зданий, разработки котлована и устройству фундамента наблюдалось превышение показателя максимально разовой концентрации PM_{2.5} до 181.4 мкг/м³, что указывает на высокий уровень загрязнения воздуха городской территории, прилегающей к строительной площадке. Эти данные подтверждают необходимость усиления экологического контроля в городских районах активного строительства, в том числе, ужесточение мер по контролю за чистотой воздуха и активное внедрение стратегий по минимизации воздействия мелкодисперсной пыли на здоровье населения.

Список литературы

1. Reducing Construction Dust Pollution by Planning Construction Site Layout / G. Tao, J. Feng, H. Feng [et al.]. *Buildings*, 2022, vol. 12, 531. DOI: 10.3390/buildings12050531.
2. Study on the Effects of Dust Particle Size and Respiratory Intensity on the Pattern of Respiratory Particle Deposition in Humans / G. Zhou, Z. Liu, W. Shao [et al.]. *Indoor Air*, 2024, vol. 1, 1. DOI: 10.1155/2024/5025616.
3. Mitigating Dust Pollution from Construction Activities: A Behavioural Control Perspective / M. Kaluarachchi, A. Waidyasekaran, R. Ram-eezdeen [et al.]. *Sustainability*, 2021, vol. 13, pp. 1–19. DOI: 10.3390/su13169005.
4. Empirical Analysis of Dust Health Impacts on Construction Workers Considering Work Types / L. Kumi, J. Jeong, J. Jeong [et al.]. *Buildings*, 2022, vol. 12, 1137. DOI: 10.3390/buildings12081137.
5. Cui Tianxin. Development of Dust Monitoring in Urban Construction Sites and Suggestions on Dust Control. *Journal of Innovation and Development*, 2023, vol. 2, pp. 18–21. DOI: 10.54097/jid.v2i2.5904.
6. Analyzed and Simulated Prediction of Emission Characteristics of Construction Dust Particles under Multiple Pollution Sources / Liu Wei, Huang Xiaohui, Chen Huapeng [et al.]. *Computational Intelligence and Neuroscience*, 2022, vol. 4, pp. 1–10. DOI: 10.1155/2022/7349001.
7. Modification of Hybrid Receptor Model for Atmospheric Fine Particles (PM_{2.5}) in 2020 Daejeon, Korea, Using an ACERWT Model / Han Sang-woo, Joo Hung-soo, Kim Kyoungchan [et al.]. *Atmosphere*, 2024, vol. 15, 477. DOI: 10.3390/atmos15040477.
8. Evaluation of Construction Dust Diffusion and Sedimentation Using Wind Tunnel

Experiment / Zhang Y., Tang W., Li H. [et al.]. *Toxics*, 2022, vol. 10, 412. DOI: 10.3390/toxics10080412.

9. Samaradiwakara D. S., Pitawala H.M.T.G.A. Extent of air pollution in Kandy area, Sri Lanka: Morphological, mineralogical and chemical characterization of dust. *Ceylon J. Sci.*, 2021, vol. 50, pp. 475–486. DOI: 10.4038/cjs.v50i4.7946.

10. Dust dispersion patterns during construction processes: A multi-process simulation study / Q. Luo, L. Huang, Y. Liu [et al.]. *Sustainability*, 2021, vol. 13, 8451. DOI: 10.1016/j.jobe.2023.107478.

11. Environmental Particulate Matter (PM) Exposure Assessment of Construction Activities Using Low-Cost PM Sensor and Latin Hypercube Technique / M. Khan, N. Khan, M. J. Skibniewski [et al.]. *Sustainability*, 2021, vol. 13, 7797. DOI: 10.3390/su13147797.

12. Karin A.-D., Clifford K., Hand J. Dust Under the Radar: Rethinking How to Evaluate the Impacts of Dust Events on Air Quality in the United States. *GeoHealth*, 2023, vol. 7, 1029. DOI: 10.1029/2023GH000953.

13. The simulation of mineral dust in the United Kingdom Earth System Model UKESM1 / W. Stephanie, S. Alistair, T. Yongming [et al.]. *Atmos. Chem. Phys.*, 2022, vol. 22, 14503. DOI: 10.5194/acp-22-14503-2022.

14. Manzhilevskaya S. Dust Pollution in Construction Sites in Point-Pattern Housing Development. *Buildings*, 2024, vol. 14, 2991. DOI: 10.3390/buildings14092991.

15. Azarov V. N., Batmanov V. P., Strelyaeva A. B. Aerodynamic characteristics of dust in the emissions into the atmosphere and working zone of construction enterprises. *International Review of Civil Engineering*, 2016, vol. 7, pp. 132–136. DOI: 10.15866/irece.v7i5.9869.

16. Исследование дисперсного состава пыли городской среды / В. Н. Азаров, А. А. Кузьмичев, Д. А. Николенко [и др.] // Вестник МГСУ. 2020. № 15. С. 432–442. DOI:10.22227/1997-0935.2020.3.432-442.

17. Azarov V. N., Trokhimchyk M. K., Sidelnikova O. E. Research of dust content in the earthworks working area. *Procedia Engineering*, 2016, vol. 150, pp. 2008–2012.

18. Стреляева А. Б., Калюжина Е. А. Экологическая безопасность при проведении земляных и строительно-отделочных работ // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2017. № 50 (69). С. 321–329.

19. Сумеркин Ю. А., Теличенко В. И. Оценка экологической безопасности придомовых территорий жилых районов // Промышленное и гражданское строительство. 2017. № 6. С. 75–79.

20. Efficiency of standards compliance for PM(10) and PM(2,5) / N. V. Menzelintseva, N. Y. Karapuzova, Y. S. Mikhailovskaya [et al.]. *International Review of Civil Engineering*, 2016, vol. 7, pp. 1–8.

21. Азаров В. Н., Кошкарев С. А. Повышение экологической безопасности стройиндустрии совершенствованием систем обеспыливания с использованием комплексного дисперсионного анализа пылевых выбросов // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2016. № 43 (62). С. 161–174.

22. Ilyichev V. A. Estimation of Indicators of Ecological Safety in Civil Engineering. *Procedia Engineering*, 2015, vol. 117, pp. 126–131.

23. Оценка экологической безопасности строительства на основе модели полного ресурсного цикла / В. А. Ильичев, В. И. Колчунов, Н. В. Бакаева [и др.] // Научный вестник Воронежского ГАСУ. Строительство и архитектура. 2016. № 4. С. 169–176.

24. Бакаева Н. В., Калайдо А. В. Обеспечение радиационно-экологической безопасности объектов строительства // Строительство и реконструкция. 2018. № 3. С. 39–45.

25. Ложкина О. В., Никитина Т. Г., Цветков В. А. Совершенствование инструментальных методов анализа опасных загрязнителей воздуха на примере определения аммиака // Проблемы управления рисками в техносфере. 2022. № 61. С. 97–107.

26. Богуславский Е. И. Оценка концентрации и дисперсного состава пыли в воздухе рабочих и обслуживаемых зон // Безопасность жизнедеятельности. 2005. № 2. С. 46–47.

27. Bakayeva N., Matyushin D., Chernyaeva I. Integrated security assessment engineering construction object. *E3S Web of Conferences: International Scientific Conference «Fundamental and Applied Scientific Research in the*

Development of Agriculture in the Far East» (AFE-2022), 2023, 02043.

References

1. Reducing Construction Dust Pollution by Planning Construction Site Layout / G. Tao, J. Feng, H. Feng [et al.]. *Buildings*, 2022, vol. 12, 531. DOI: 10.3390/buildings12050531.

2. Study on the Effects of Dust Particle Size and Respiratory Intensity on the Pattern of Respiratory Particle Deposition in Humans / G. Zhou, Z. Liu, W. Shao [et al.]. *Indoor Air*, 2024. vol. 1, 1. DOI: 10.1155/2024/5025616.

3. Mitigating Dust Pollution from Construction Activities: A Behavioural Control Perspective / M. Kaluarachchi, A. Waidyasekaran, R. Ram-eezdeen [et al.]. *Sustainability*, 2021, vol. 13, pp. 1–19. DOI:10.3390/su13169005.

4. Empirical Analysis of Dust Health Impacts on Construction Workers Considering Work Types / L. Kumi, J. Jeong, J. Jeong [et al.]. *Buildings*, 2022, vol. 12, 1137. DOI: 10.3390/buildings12081137.

5. Cui Tianxin. Development of Dust Monitoring in Urban Construction Sites and Suggestions on Dust Control. *Journal of Innovation and Development*, 2023, vol. 2, pp.18–21. DOI: 10.54097/jid.v2i2.5904.

6. Analyzed and Simulated Prediction of Emission Characteristics of Construction Dust Particles under Multiple Pollution Sources / Liu Wei, Huang Xiaohui, Chen Huapeng [et al.]. *Computational Intelligence and Neuroscience*, 2022, vol. 4, pp. 1–10. DOI: 10.1155/2022/7349001.

7. Modification of Hybrid Receptor Model for Atmospheric Fine Particles (PM_{2.5}) in 2020 Daejeon, Korea, Using an ACERWT Model / Han Sang-woo, Joo Hung-soo, Kim Kyoungchan [et al.]. *Atmosphere*, 2024, vol. 15, 477. DOI: 10.3390/atmos15040477.

8. Evaluation of Construction Dust Diffusion and Sedimentation Using Wind Tunnel Experiment / Zhang Y., Tang W., Li H. [et al.]. *Toxics*, 2022, vol. 10, 412. DOI: 10.3390/toxics10080412.

9. Samaradiwakara D. S., Pitawala H.M.T.G.A. Extent of air pollution in Kandy area, Sri Lanka: Morphological, mineralogical and chemical characterization of dust. *Ceylon J. Sci*, 2021, vol. 50, pp. 475–486. DOI: 10.4038/cjs. v50i4.7946.

10. Dust dispersion patterns during construction processes: A multi-process simulation study / Q. Luo, L. Huang, Y. Liu [et al.]. *Sustainability*, 2021, vol. 13, 8451. DOI: 10.1016/j.job. 2023.107478.

11. Environmental Particulate Matter (PM) Exposure Assessment of Construction Activities Using Low-Cost PM Sensor and Latin Hypercube Technique / M. Khan, N. Khan, M. J. Skibniewski [et al.]. *Sustainability*, 2021, vol. 13, 7797. DOI: 10.3390/su13147797.

12. Karin A.-D., Clifford K., Hand J. Dust Under the Radar: Rethinking How to Evaluate the

Impacts of Dust Events on Air Quality in the United States. *GeoHealth*, 2023, vol. 7, 1029. DOI: 10.1029/2023GH000953.

13. The simulation of mineral dust in the United Kingdom Earth System Model UKESM1 / W. Stephanie, S. Alistair, T. Yongming [et al.]. *Atmos. Chem. Phys.*, 2022, vol. 22, 14503. DOI: 10.5194/acp-22-14503-2022.

14. Manzhilevskaya S. Dust Pollution in Construction Sites in Point-Pattern Housing Development. *Buildings*, 2024, vol. 14, 2991. DOI: 10.3390/buildings14092991.

15. Azarov V. N., Batmanov V. P., Strelyaeva A. B. Aerodynamic characteristics of dust in the emissions into the atmosphere and working zone of construction enterprises. *International Review of Civil Engineering*, 2016, vol. 7, pp. 132–136. DOI: 10.15866/irece.v7i5.9869.

16. Issledovanie dispersnogo sostava pyli gorodskoj sredy [The research of dust dispersed composition of urban environment] / V. N. Azarov, A. A. Kuzmichev, D. A. Nikolenko [et al.]. *Vestnik MGSU*, 2020, issue 15, pp. 432–442. DOI: 10.22227/1997-0935.2020.3.432-442.

17. Azarov V. N., Trokhimchyk M. K., Sidelnikova O. E. Research of dust content in the earthworks working area. *Procedia Engineering*, 2016, vol. 150, pp. 2008–2012.

18. Strelyaeva A. B., Kalyuzhina E. A. Ekologicheskaya bezopasnost' pri provedenii zemlyanyh i stroitel'no-otdelochnykh rabot [Environmental Safety of Earthworks and Construction and Decoration Works]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arhitektura*, 2017, vol. 50, issue 69, pp. 321–329.

19. Sumerkin Yu. A., Telichenko V. I. Ocenka ekologicheskoy bezopasnosti pridomovykh territorij zhilykh rayonov [Assessment of ecological safety of territories adjoining residential areas]. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo*, 2017, issue 6, pp. 75–79.

20. Efficiency of standards compliance for PM(10) and PM(2,5) / N. V. Menzelintseva, N. Y. Karapuzova, Y. S. Mikhailovskaya [et al.]. *International Review of Civil Engineering*, 2016, vol. 7, pp. 1–8.

21. Azarov V. N., Koshkarev S. A. Povyshenie ekologicheskoy bezopasnosti strojindustrii

sovershenstvovaniem sistem obespylivaniya s ispol'zovaniem kompleksnogo dispersionnogo analiza pylevykh vybrosov [Increase of environmental safety of construction industry by improvement of decreasing dust systems using integrated analysis of variance dust emissions]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arhitektura*, 2016, vol. 43, issue 62, pp. 161–174.

22. Ilyichev V. A. Estimation of Indicators of Ecological Safety in Civil Engineering. *Procedia Engineering*, 2015, vol. 117, pp. 126–131.

23. Ocenka ekologicheskoy bezopasnosti stroitel'stva na osnove modeli polnogo resursnogo cikla [Assessment of environmental safety of construction based on a model of a complete resource cycle] / V. A. Ilyichev, V. I. Kolchunov, N. V. Bakaeva [et al.]. *Nauchnyj vestnik Voronezhskogo GASU. Stroitel'stvo i arhitektura*, 2016, issue 4, pp. 169–176.

24. Bakaeva N. V., Kalaydo A. V. Obespechenie radiacionno-ekologicheskoy bezopasnosti ob'ektov stroitel'stva [Ensuring the radiation-ecological safety of constructions]. *Stroitel'stvo i rekonstrukciya*, 2018, issue 3, pp. 39–45.

25. Lozhkina O. V., Nikitina T. G., Tsvetkov V. A. Sovershenstvovanie instrumental'nykh metodov analiza opasnykh zagryaznitelej vozduha na primere opredeleniya ammiaka [Improvement of instrumental methods for the analysis of hazardous air pollutants on the example of ammonia determination]. *Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere*, 2022, vol. 1, issue 61, pp. 97–107.

26. Boguslavsky E. I. Ocenka koncentracii i dispersnogo sostava pyli v vozduhe rabochnykh i obsluzhivaemykh zon [Assessment of the concentration and dispersed composition of dust in the air of working and serviced zones]. *Bezopasnost' zhiznedeyatel'nosti*, 2005, vol. 2, pp. 46–47.

27. Bakaeva N., Matyushin D., Chernyaeva I. Integrated security assessment engineering construction object. E3S Web of Conferences: International Scientific Conference «Fundamental and Applied Scientific Research in the Development of Agriculture in the Far East» (AFE-2022), 2023, 02043.

Манжильевская Светлана Евгеньевна

Донской государственный технический университет,

Российская Федерация, г. Ростов-на-Дону

кандидат технических наук, доцент

E-mail: smanzhilevskaya@yandex.ru

Manzhilevskaya Svetlana Evgenievna

Federal State Budget Educational Establishment of Higher Education «Don State Technical University»,

Russian Federation, Rostov-on-Don

candidate of technical sciences, associate professor

E-mail: smanzhilevskaya@yandex.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 специальностям 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.
- экспертное заключение о возможности открытой публикации материалов в журнале;

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 текст 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 обязательно 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
№ 2 (55), 2025

16+

Дата выхода в свет 27.06.2025 г. Бумага офсетная. Печать цифровая.
Формат 60 × 90 1/8. Усл. печ. л. 16. Тираж 100 экз.
Заказ № 595. 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