

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»

№ 3 (52), 2024



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.

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

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Главный редактор:

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

Заместители

главного редактора:

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

Научный редактор:

Ульев 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, профессор, ведущий научный сотрудник научно-исследовательского отделения УНК ПИПАСР ФГБОУ ВО «Уральский институт ГПС МЧС России» (Россия, г. Екатеринбург)

Баканов Максим Олегович – д-р техн. наук, доцент, начальник Учебно-научного комплекса «Пожаротушение» Ивановской пожарно-спасательной академии ГПС МЧС России (Россия, г. Иваново)

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)

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)

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)

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

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

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 Гаврич – 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)

Телличенко 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, заведующий кафедрой 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 27.09.2024 г. Формат 60x90 1/8. Усл. печ. л. 18,8. Тираж 100 экз. Заказ № 665.

Свидетельство о регистрации СМИ ПИ № ФС77-84179 от 15.11.2022

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

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

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

© Ивановская пожарно-спасательная академия
ГПС МЧС России, 2024

СОДЕРЖАНИЕ / CONTENTS

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

Натареев С. В., Ларина А. И., Фролова Т. В. Ионообменная очистка воды в аппарате со взвешенным слоем ионита 5
Natareev S. V., Larina A. I., Frolova T. V. Ion exchange water purification in a apparatus with a suspended bed of ion exchange 5

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

Кочетова А. А., Никифоров А. Л., Панев Н. М. Оценка пожарной опасности и подходов к огнезащите древесно-стружечных плит 13
Kochetova A. A., Nikiforov A. L., Panev N. M. Assessment of fire hazard and approaches to fire protection of particle boards 13

Марахов П. А., Порошин А. А., Стрельцов О. В., Кондашов А. А., Бобринев Е. В., Удавцова Е. Ю. Формирование информационной базы для расчета ресурсного обеспечения пожарной охраны по защите организаций от пожаров 22
Marakhov P. A., Poroshin A. A., Streltsov O. V., Kondashov A. A., Bobrinev E. V., Udavtsova E. Y. Formation of an information base for calculating the resource provision of fire protection to protect organizations from fires 22

Мзокова Е. А., Ищенко А. Д. О создании системы классификации опасностей объекта пожара для сотрудников и работников ФПС 30
Mzokova E. A., Ishchenko A. D. On the creation of a system for classification of fire hazards for employees and workers of the FFS 30

Новичкова Н. Ю., Сараев И. В., Новожилова К. А., Никифоров А. Л. Зарубежный опыт эксплуатации пожарных рукавов 39
Novichkova N. Yu., Saraev I. V., Novozhilova K. A., Nikiforov A. L. Foreign experience in fire hoses operation 39

Осмоловская А. А., Сторонкина О. Е., Мочалова Т. А. Анализ поведения текстильных материалов при высокотемпературном воздействии 46
Osmolovskaya A. A., Storonkina O. E., Mochalova T. A. Analysis of the behavior of textile materials under high temperature exposure 46

Покровский А. А., Киселев В. В., Пучков П. В., Сидоров А. А. Анализ конструкций мобильных устройств для тушения ландшафтных пожаров 53
Pokrovsky A. A., Kiselev V. V., Puchkov P. V., Sidorov A. A. Analysis of mobile device designs for extinguishing landscape fires 53

Салихова А. Х., Циркина О. Г., Сырбу С. А., Колесникова Н. Н. Проблемные вопросы нормирования показателей пожарной опасности текстильных материалов 62
Salikhova A. Kh., Tsirkina O. G., Syrbu S. A., Kolesnikova N. N. Problem issues in the standardization of fire hazard indicators of textile materials 62

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

Румянцева В. Е., Коновалова В. С., Гальцев А. А., Строкин К. Б., Нармания Б. Е. Прочность и трещиностойкость бетона с добавкой на основе стеарата кальция 71
Rumyantseva V. E., Konovalova V. S., Gal'tsev A. A., Strokin K. B., Narmaniya B. E. Strength and crack resistance of concrete with an additive based on calcium stearate 71

| | |
|--|----|
| Румянцева В. Е., Коновалова В. С., Гальцев А. А., Строкин К. Б., Новиков Д. Г. Повышение прочности сцепления арматуры с бетоном посредством объемной гидрофобизации цементного камня | 83 |
| Rumyantseva V. E., Konovalova V. S., Gal'tsev A. A., Strokin K. B., Novikov D. G. Increasing the bond strength of reinforcement to concrete through volumetric hydrophobization of cement stone | 83 |

**ТЕПЛОСНАБЖЕНИЕ, ВЕНТИЛЯЦИЯ, КОНДИЦИОНИРОВАНИЕ ВОЗДУХА,
ГАЗОСНАБЖЕНИЕ И ОСВЕЩЕНИЕ (ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ)
HEAT, VENTILATION, AIR CONDITIONING, GAS AND LIGHTING SUPPLY**

| | |
|--|----|
| Малыгина О. А. Разработка математических моделей определения тепловлажностного режима ограждающих конструкций зданий при нестационарном тепловом потоке | 93 |
| Malygina O. A. Development of mathematical models of definition heat and humidity conditions of building enclosing structures with non-stationary heat flow | 93 |

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

| | |
|--|-----|
| Апарин А. А. Модели и алгоритмы поддержки принятия управленческих решений при реагировании на пожар в городской среде | 105 |
| Aparin A. A. Models and algorithms for supporting management decision-making in responding to a fire in an urban environment | 105 |
| Боровкова Н. В., Медведева М. В. Совершенствование методов анализа социальной составляющей экономической безопасности региона | 112 |
| Borovkova N. V., Medvedeva M. V. Improvement of methods for analyzing the social component of regional economic security | 112 |
| Ермилов А. В., Никишов С. Н., Кузнецов А. В., Тарасова Д. А. Поддержка принятия управленческих решений выбора оптимального расхода огнетушащих веществ на месте пожара | 122 |
| Ermilov A. V., Nikishov S. N., Kuznetsov A. V., Tarasova D. A. Support for management decision-making in choosing the optimal consumption of fire extinguishing agents at the fire site | 122 |
| Карпов С. Ю. Определение базисных факторов, влияющих на качество расследования | 130 |
| Karpov S. Y. Using cognitive modeling in determining fire investigation quality indicator | 130 |
| Колеров Д. А., Куватов В. И. Оптимизация подготовки спасательных судов к плаванию методами сетевого планирования и управления | 140 |
| Kolerov D. A., Kuvatov V. I. Optimization of preparation of rescue vessels for sailing using methods of network planning and management | 140 |

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

УДК 66.011:66.023

**ИОНООБМЕННАЯ ОЧИСТКА ВОДЫ
В АППАРАТЕ СО ВЗВЕШЕННЫМ СЛОЕМ ИОНИТА**

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

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

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

Авторами предложено математическое описание процесса ионообменной очистки растворов от ионов тяжелых металлов с использованием устройства с псевдооживленным разделенным слоем ионита. При разработке математического описания использовались следующие допущения: ионит монодисперсен и имеет сферическую форму, ионообменное равновесие описывается уравнением Никольского, скорость процесса ограничена как внутренней, так и внешней диффузией, идеальное перемешивание ионита и раствора на пластине, концентрация раствора подлежащего очистке изменяется линейно. Для решения поставленной задачи авторы применили интервально-итерационный подход, основанный на разумном сочетании аналитических и численных методов теории массообменных процессов. Кинетические и гидродинамические параметры процесса являются постоянными для каждой тарелки; уравнение равновесия Никольского заменено уравнением касательной к нелинейной равновесной зависимости. Полученные уравнения позволяют рассчитать распределение концентрации раствора по высоте устройства. Авторы определили достоверность математической модели на примере очистки сточных вод от ионов цинка на катионите КУ-2-8 в колонне непрерывного действия. Отклонение расчетных результатов от экспериментальных данных не превышает 15 %. Разработанная математическая модель рекомендована к практическому применению.

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

**ION EXCHANGE WATER PURIFICATION
IN A APPARATUS WITH A SUSPENDED BED OF ION EXCHANGE**

S. V. NATAREEV^{1,2}, A. I. LARINA¹, T. V. FROLOVA²

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

² Federal State Budget Educational Establishment of Higher Education
«Ivanovo Fire Rescue Academy of State Firefighting Service of Ministry of Russian Federation
for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters»,
Russian Federation, Ivanovo
E-mail: natoret@mail.ru

The authors suggest a mathematical description of the process of ion-exchange purification of solutions from heavy metal ions using the apparatus with a fluidized partitioned ionite layer. While developing mathematical description, the following assumptions are used: the ionite is monodisperse and has a spherical shape, the ion exchange equilibrium is described by Nikolsky equation, the velocity of the process is limited by both internal and external diffusion, perfect mixing of ionite and solution on a plate, the concentration of the solution to be cleaned varies linearly. To solve the task, the authors applied the interval-iterative approach based on a reasonable combination of analytical and numerical methods of the theory of mass-

exchanging processes. The kinetic and hydrodynamic parameters of the process are constants on each tray; the equilibrium equation of Nikolsky is replaced with the equation of the tangent to the nonlinear equilibrium dependence. The obtained equations allow calculating the distribution of the solution concentration throughout the height apparatus. The authors determined the validity of the mathematical model on the example of the waste water purification from zinc ions on the KU-2-8 cationite in the continuous column. The deviation of the calculated results from the experimental data does not exceed 15 %. The elaborated mathematical model is recommended for practical application.

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

При чрезвычайной ситуации, когда нарушена регулярная подача воды из-за воздействия опасных природных явлений, а также в результате аварий и катастроф техногенного характера, проводятся аварийно-спасательные и другие неотложные работы, направленные на спасение жизни и сохранение здоровья людей, снижение размеров ущерба окружающей природной среде и материальных потерь. В зоне чрезвычайной ситуации возможно загрязнение источников воды в результате попадания в них токсичных химических веществ вследствие разрушения грунтовыми водами слоя горных пород, естественного отвода дождевой воды с зараженной территории, разрушения (повреждения) технологических емкостей и т.п. Одной из основных задач при ликвидации последствий чрезвычайной ситуации является бесперебойное обеспечение населения, подразделений МЧС, медицинских, городских и иных учреждений чистой водой¹. Для организации временного водоснабжения успешно применяются мобильные станции водоочистки, в состав которых в зависимости от вида загрязнений могут входить аппараты для механической, химической, сорбционной и другой очистки воды [1]. Для очистки многих растворов в воде примесей успешно применяется метод ионного обмена, который основан на направленном изменении ионного состава воды путем пропускания её через слой мелкозернистого ионообменного материала (ионита) [2]. Метод ионного обмена позволяет получить воду с остаточным содержанием ионов тяжелых металлов, не превышающим значений предельно-допустимых концентраций (ПДК). В условиях чрезвычайной ситуации может наблюдаться изменение концентрации загрязняющих веществ в воде, что, несомненно, приводит к ухудшению ее качества после очистки.

Поэтому важно проведение исследований по изучению работы ионообменных аппаратов в условиях изменяющейся во времени концентрации примеси в воде с целью организации эффективного регулирования режима их работы и предотвращения аварийной ситуации.

Работа посвящена теоретическому и экспериментальному изучению процессов ионного обмена в аппарате со взвешенным секционированным слоем ионита (рис. 1). Аппарат представляет собой колонну прямоугольного сечения $a \times b$, по высоте которой установлены распределительные тарелки 3 длиной L в количестве N_T штук и переточные стаканы 2. Высота порога h переточного стакана определяет высоту взвешенного слоя ионита на тарелке. Исходный раствор подается снизу аппарата с заданными расходом Q и концентрацией $C_{вх}$. Раствор проходит последовательно снизу вверх через тарелки, на которых находится взвешенный слой ионита, очищается от примесей и выводится в верхней части аппарата. Ионит с объемной расходом \bar{Q} и начальным содержанием целевого компонента $\bar{C}_{ср.вх}$ поступает на верхнюю тарелку аппарата, где перемещается к противоположному концу тарелки и переходит на нижерасположенную тарелку через переточный стакан 2. Отработанный ионит выводится из аппарата в нижней его части. Результаты исследования стационарного процесса ионного обмена в аппарате со взвешенным секционированным слоем ионита приведены в работе [3]. Данная работа посвящена изучению нестационарного процесса ионного обмена в вышеуказанном аппарате в условиях с изменяющейся во времени концентрацией раствора на входе в аппарат.

При построении математического описания используем допущения, предполагающие изменение концентрации раствора, поступающего на очистку, по линейному закону, неллинейный вид равновесной зависимости и смешаннодиффузионный характер обмена ионов между фазами с переменным коэффициентом внутренней диффузии; постоянность коэффициента внутренней диффузии на тарелке.

¹ Методические рекомендации по организации первоочередного жизнеобеспечения населения в чрезвычайных ситуациях и работы пунктов временного размещения пострадавшего населения (утв. МЧС России 20.08.2020 N 2-4-71-18-11). Электронный ресурс. Доступ из СПС КонсультантПлюс. https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_365189/

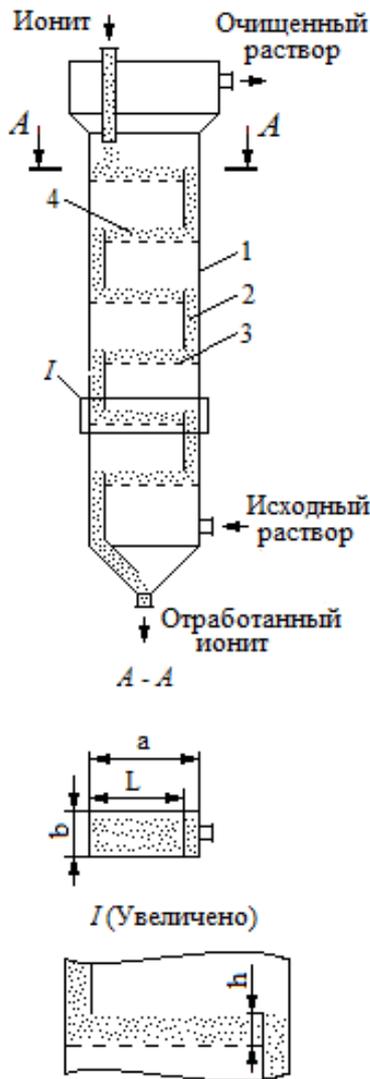


Рис. 1. Аппарат со взвешенным секционированным слоем ионита: 1 – корпус, 2 – переточный стакан, 3 – тарелка, 4 – взвешенный слой ионита

В соответствии с принятыми допущениями сформулируем математическую постановку задачи, для решения которой используем метод интервально-итерационного анализа [4]. В соответствии с данным методом предполагаем на каждой тарелке линейность изотермы сорбции и постоянство кинетических параметров процесса. Расчет начинается с нижней (первой) тарелки.

Система дифференциальных уравнений, описывающих процесс ионного обмена на i -ой тарелке, включает уравнение материального баланса:

$$V \frac{dC_i(\tau)}{d\tau} = Q[C_{\text{вх},i} + u\tau - C_i(\tau)] - \bar{Q}[\bar{C}_{\text{ср},\text{вых},i} - \bar{C}_{\text{ср},i}(\tau)]. \quad (1)$$

Начальное условие для уравнения (1) имеет вид:

$$C_i(0) = C_{0,i}. \quad (2)$$

Здесь приняты обозначения: C – концентрация раствора, кмоль-экв/м³; \bar{C} – концентрация сорбируемого вещества в ионите, кмоль-экв/м³; V – объем раствора на тарелке, м³; u – коэффициент, кмоль-экв/(м³с); τ – время, с; индексы: 0 – начальный, вх – входящий, вых – выходящий, ср – средний.

Уравнение нелинейной изотермы ионного обмена Никольского:

$$K_c = \frac{(C_{\text{вх}} - C_{\text{р},i})^2 \bar{C}_{\text{р},i}}{(a_0 - \bar{C}_{\text{р},i})^2 C_{\text{р},i}} \quad (3)$$

заменяем уравнением касательной в точке с координатами $(C_{\text{р},i}, \bar{C}_{\text{р},i})$:

$$\bar{C}_{\text{р},i,j} = mC_{\text{р},i,j} + k, \quad (4)$$

где a_0 – обменная емкость ионита, кмоль-экв/м³; K_c – концентрационная константа равновесия; m и k – коэффициенты, значения которых приведены в работе [4]; индекс: р – равновесный.

Уравнение для определения средней концентрации целевого компонента в ионите на входе в i -ую тарелку [4]:

$$\bar{C}_{\text{ср},\text{вх},i} = \int_0^{\infty} f(\tau) \bar{C}_{\text{ср},i} d\tau, \quad (5)$$

где $f(\tau)$ – функция, характеризующая структуру потока ионита; $\bar{C}_{\text{ср},i}$ – решение уравнения кинетики.

Для случая идеального смешения частиц ионита на тарелке функция распределения времени их пребывания имеет вид:

$$f(\tau) = \frac{1}{\bar{\tau}_{\text{ср}}} e^{-\frac{\tau}{\bar{\tau}_{\text{ср}}}}, \quad (6)$$

где $\bar{\tau}_{\text{ср}} = \bar{V}(1 - \varepsilon) / \bar{Q} = (a - d)bh(1 - \varepsilon) / \bar{Q}$ – среднее время пребывания ионита на тарелке, с; \bar{V} – объем ионита на тарелке, м³.

Степень насыщения ионита целевым компонентом с учетом смешанной диффузии определяется уравнением:

$$\frac{\bar{C}_{\text{ср.вых},i} - \bar{C}_{\text{ср},i}(\tau)}{\bar{C}_{\text{ср.вых},i} - \bar{C}_p} = \sum_{n=1}^{\infty} A_n e^{-\mu_n^2 \frac{\bar{D}\tau}{r_0^2}}, \quad (7)$$

где \bar{D} – коэффициент диффузии сорбируемого вещества в ионите, м²/с; r_0 – радиус частицы ионита, м;

$A_n = \frac{6(\sin\mu_n - \mu_n \cos\mu_n)^2}{\mu_n^3(\mu_n - \sin\mu_n \cos\mu_n)}$; μ_n – корни трансцендентного уравнения:

$$\text{tg}\mu = -\frac{\mu}{\text{Bi}_m - 1}. \quad (8)$$

Здесь $\text{Bi}_m = \beta r_0 / (m\bar{D})$ – критерий Био; β – коэффициент массоотдачи в растворе, м/с. Выразим из уравнения кинетики (7) функцию $\bar{C}_{\text{ср},i}(\tau)$ и подставим ее значение, а также функцию $f(\tau)$, определенную уравнением (6), в уравнение (5) и проинтегрируем полученное выражение в пределах от 0 до ∞ . Полученное выражение подставим в уравнение материального баланса (1), в котором заменяем производную $dC/d\tau$ на конечную разность. Получаем

$$V \frac{C_{\text{вых},i} - C_{0,i}}{\tau_{\text{ср}}} = Q(C_{\text{вх},i} + b\tau_{\text{ср}} - C_{\text{вых},i}) - \bar{Q}(\bar{C}_{\text{ср.вых},i} - \bar{C}_{p,i}) \sum_{n=1}^{\infty} \frac{A_n}{1 + \frac{\mu_n^2 \bar{D} \tau_{\text{ср}}}{r_0^2}}, \quad (9)$$

где $\tau_{\text{ср}} = V/Q = (a-d)bh\varepsilon/Q$ – среднее время пребывания раствора на тарелке, с.

Откуда находим

$$\left[-\frac{\bar{Q}\tau_{\text{ср}}}{V} (\bar{C}_{\text{ср.вых},i} - \bar{C}_{p,i}) \sum_{n=1}^{\infty} \frac{A_n}{1 + \frac{\mu_n^2 \bar{D} \tau_{\text{ср}}}{r_0^2}} \right], \quad (10)$$

Уравнение (10) позволяет рассчитать концентрацию раствора на входе в i -ую тарелку. Значения $C_{\text{вых},i}$ и $\bar{C}_{\text{ср.вых},i} = \bar{C}_{\text{ср},i}$, рассчитанные для $\tau = \tau_{\text{ср}}$ становятся исходными для расчета выше расположенной тарелки. Расчет заканчивают на верхней (последней) тарелке.

Разработанная математическая модель была применена для изучения процессов ионного обмена в системе раствор ZnCl_2 – катионит КУ–2–8 (Н–форма) в аппарате со следующими характеристиками: $a = 0,075$ м; $b = 0,02$ м; $L = 0,065$ м, $N_T = 6$. Исходная концентрация раствора хлорида цинка, подаваемого на первую тарелку, $C_{\text{вх},1}$ составляла 0,01 и 0,03 кмоль-экв/м³, которая повышалась по линейному закону:

$$C_{\text{вх}}(\tau) = C_{\text{вх},1} + u\tau, \quad (11)$$

где $u = 3,3 \cdot 10^{-6}$ кмоль-экв/(м³·с) – для $C_{\text{вх},1} = 0,01$ кмоль-экв/м³; $u = 1,7 \cdot 10^{-5}$ кмоль-экв/(м³·с) – для $C_{\text{вх},1} = 0,03$ кмоль-экв/м³.

Для расчета коэффициента массоотдачи в жидкой фазе β использовали уравнение Гретца-Нуссельта [5]:

$$\text{Sh} = \frac{\beta d_r}{D} = -\frac{1}{2x_{\pm}} \ln \left[8 \sum_{n=0}^{\infty} \left(\frac{G_n}{\lambda_n^2} \right) \exp(-x_{\pm} \lambda_n^2) \right]. \quad (12)$$

Здесь $x_{\pm} = 2H/(d_r \text{Re}' \text{Sc})$ – безразмерная продольная координата; $\text{Re}' = v_{\text{от}} d_r / \nu$ – критерий Рейнольдса; $\text{Sc} = \nu / D$ – критерий Шмидта; $d_r = 0,423 \varepsilon^{1,25} d_3 / (1 - \varepsilon)$ – гидравлический диаметр самого узкого сечения каналов слоя; D – коэффициент диффузии в растворе, м²/с; d_3 – диаметр частицы ионита, м; ν – коэффициент кинематической вязкости раствора, м²/с; G_k, λ_k – постоянные и собственные значения ряда, определяемые по формулам:

$$\lambda_k = 4k + 8/3; G_k = 1,01276 \lambda_k^{-1/3}, k = 0, 1, 2 \dots \quad (13)$$

Порозность взвешенного слоя ионита ε рассчитывали по уравнению [6]:

$$\varepsilon = 1,54 \text{Re}_3^{0,264} \text{Ar}^{-0,184}, \quad (14)$$

где $\text{Re}_3 = v_n d_3 / \nu$ – критерий Рейнольдса для зерна, $\text{Ar} = d_3(\bar{\rho} - \rho)g / (v^2 \rho)$ – критерий Архимеда, $\bar{\rho}$ – плотность набухшего ионита, кг/м³; ρ – плотность раствора, кг/м³; g – ускорение свободного падения, м/с².

Для расчета коэффициента внутренней диффузии использовали уравнение, предложенное Константиновым В. А. [7]:

$$\bar{D} = \alpha C^q + p, \quad (15)$$

где α, q и p – коэффициенты.

Из анализа экспериментальных данных процесса ионного обмена $Zn^{2+}-H^+$ на катионите КУ-2-8 [8] найдены значения коэффициентов, входящих в уравнение (15): $\alpha = 1,3 \cdot 10^{-10}$; $q = 2,2$ и $p = 1,2 \cdot 10^{-11}$.

Для расчетов также использовали следующие параметры ионообменных процессов: $Q = 4,6 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3/\text{с}$; $\bar{Q} = 3,63 \cdot 10^{-8} \text{ м}^3/\text{с}$ и $K_c = 0,32$

для $C_{\text{вх.1}} = 0,01 \text{ кмоль-экв}/\text{м}^3$; $\bar{Q} = 6,2 \cdot 10^{-8} \text{ м}^3/\text{с}$ и $K_c = 0,18$ для $C_{\text{вх.1}} = 0,03 \text{ кмоль-экв}/\text{м}^3$; $a_0 = 1,6 \text{ кмоль-экв}/\text{м}^3$; $d_3 = 5,6 \cdot 10^{-4} \text{ м}$; $\beta = 1,75 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3/\text{с}$; $\nu = 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$; $\bar{\rho} = 1300 \text{ кг}/\text{м}^3$; $\rho = 1000 \text{ кг}/\text{м}^3$; $D = 1,2 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2/\text{с}$; $\varepsilon = 0,64$.

Справедливость принятых упрощающих допущений и адекватность разработанной математической модели подтверждается результатами экспериментальных исследований. Опыты на лабораторном аппарате проводили в следующей последовательности. Отрегенерированный катионит и исходный раствор с заданными расходами и содержанием целевого компонента подавали в аппарат. Через определенный промежуток времени аппарат выходил на стационарный режим работы. Затем концентрация раствора, подаваемого в аппарат, увеличивалась по линейному закону. При проведении опытов отбирали с помощью шприца раствор через специальные отверстия по высоте аппарата. Концентрацию ионов цинка в растворе определяли титрованием трилоном Б в присутствии ацетатного буфера и индикатора ксиленолового оранжевого [9]. На основании полученных данных строили кривые изменения безразмерной концентрации раствора ($N = C_{\text{вых.}i}/C_{\text{вх.1}}$) по высоте аппарата и выходные кривые ионного обмена. На рис. 2–4 приведены в сравнении экспериментальные данные и результаты расчетов. Из рис. 2 и 3 видно, что увеличение исходной концентрации раствора приводит к смещению кривой распределения концентрации раствора в сторону ее увеличения по всей высоте аппарата и снижению степени очистки раствора. С целью получения заданной степени очистки раствора необходимо разбавлять исходный раствор до начальной концентрации и поддерживать ее постоянной, что является нецелесообразным, или повышать расход катионита.

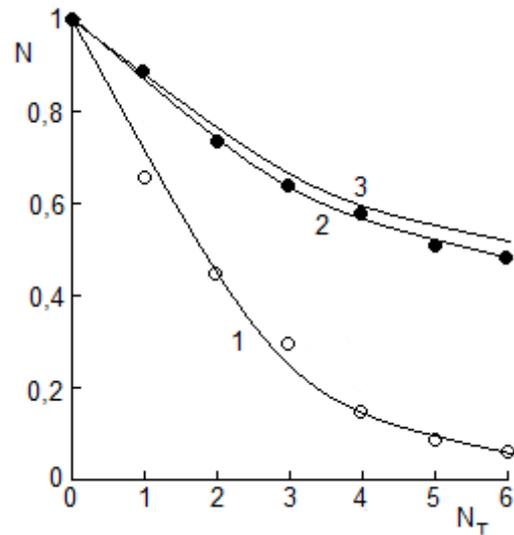


Рис. 2. Экспериментальные (1 и 2) и расчетная (3) кривые распределения безразмерной концентрации ионов Zn^{2+} в растворе по высоте аппарата:
1 – стационарный процесс: $C_{\text{вх.1}}=0,01 \text{ кмоль-экв}/\text{м}^3$;
2 и 3 – нестационарный процесс ($\tau = 600 \text{ с}$, $C_{\text{вх.1}}=0,012 \text{ кмоль-экв}/\text{м}^3$).

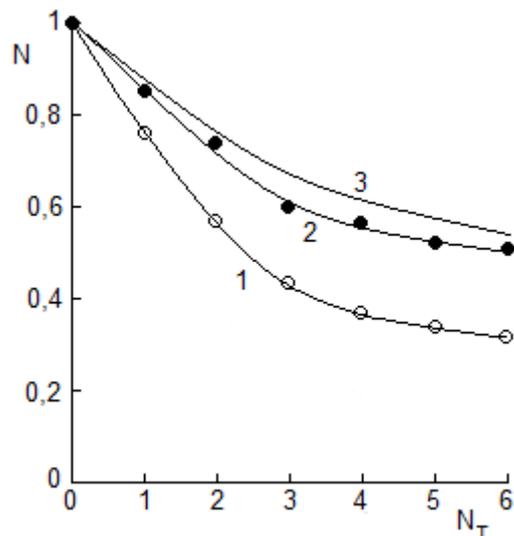


Рис. 3. Экспериментальные (1 и 2) и расчетная (3) кривые распределения безразмерной концентрации ионов Zn^{2+} в растворе по высоте аппарата:
1 – стационарный процесс: $C_{\text{вх.1}}=0,03 \text{ кмоль-экв}/\text{м}^3$;
2 и 3 – нестационарный процесс ($\tau = 600 \text{ с}$, $C_{\text{вх.1}}=0,04 \text{ кмоль-экв}/\text{м}^3$).

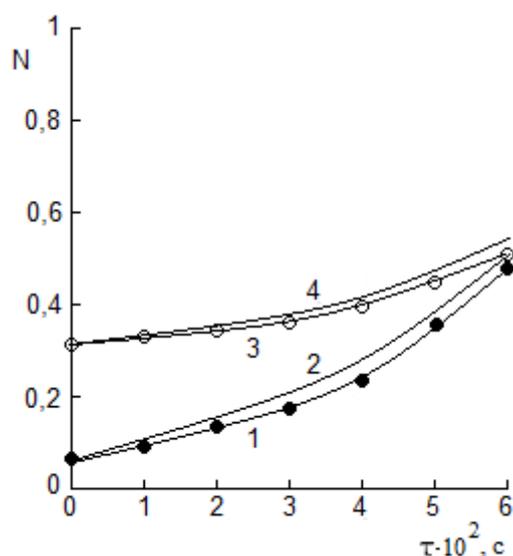


Рис. 4. Выходные кривые ионного обмена $\text{Zn}^{2+}-\text{H}^+$ в тарельчатой колонне:
 $C_{\text{вх.1}}$, кмоль-экв/м³: 1, 2 – 0,01; 3, 4 – 0,03;
 1, 3 – экспериментальные данные;
 2, 4 – расчетные кривые

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. Ионнообменная очистка воды от ионов тяжелых металлов на сорбенте из растительного сырья / С. В. Натареев, А. А. Рябиков, А. А. Быков [и др.] // *Современные проблемы гражданской защиты*. 2023. № 3 (48). С. 100–106
3. Ионнообменное извлечение ионов двухвалентных металлов в тарельчатой колонне со взвешенным слоем катионита / С. В. Натареев, Е. А. Дубкова, Т. Е. Никифорова [и др.] // *Известия вузов. Химия и химическая технология*. 2015. Т. 58. Вып. 1. С. 75–80.
4. Романков П. Г., Фролов В. Ф. Массообменные процессы химической технологии (системы с дисперсной твердой фазой). Л.: Химия, 1990. 384 с.
5. Кишиневский М. Х., Корниенко Т. С., Кармаев В. Н. Определение коэффициентов массоотдачи в каналах пористых сред // *Термодинамика необратимых процессов и ее применение*. Часть 1. Черновцы. 1984. С. 137–138.
6. Крамович В. Ф., Комаровский А. А. Кинетики массопередачи при ионнообмене в кипящем слое ионита // *Сборник трудов «Гид-*

Характерной особенностью выходных кривых ионного обмена (рис. 4) является их обращение выпуклостью вниз, что связано с нелинейным изменением коэффициента внутренней диффузии в зависимости от концентрации раствора. Среднее отклонение результатов расчета от экспериментальных данных не превышает 15%. Если принять при расчетах $\bar{D} = \text{const}$, то концентрация раствора на выходе из аппарата изменяется по линейному закону, что не соответствует реальному ходу протекания процесса ионного обмена.

Таким образом, проведенные теоретические и экспериментальные исследования позволяют рекомендовать предложенную математическую модель в инженерной практике и разработать рекомендации по применению тарельчатой ионнообменной колонны в условиях изменяющейся концентрации сорбируемого вещества в воде, подаваемой на очистку.

родинамика, тепло- и массообмен в псевдоожиженном слое». Иваново. 1971. С. 127–130.

7. Волжинский А. И., Константинов В. А. Регенерация ионитов. Теория процесса и расчет аппаратов. Л.: Химия, 1990. 240 с.

8. Математическое описание процесса ионнообменного извлечения тяжелых металлов на природном и синтетическом сорбентах / Е. А. Дубкова, С. В. Натареев, Т. Е. Никифорова [и др.] // *Известия вузов Химия и химическая технология*. 2013. Т. 56. Вып. 11. С. 124–127.

9. Алексеев В. Н. Количественный анализ. Под ред. П. К. Агасяна. М.: АльянС. 2007. 504 с.

References

1. Gupalyuk V. F., Baronin A. V., Rabotkina O. E. Sredstva ochistki vody v zonakh chrezvychaynykh situatsiy tekhnogennogo i prirodnogo kharaktera [Means of water purification in zones of man-made and natural emergencies]. *Sovremennyye tekhnologii obespecheniya grazhdanskoj oborony i likvidatsii posledstviy chrezvychaynykh situatsiy*, 2015, vol. 1-2, issue 6, pp. 191–196.

2. Ionoobmennaya ochistka vody ot ionov tyazhelykh metallov na sorbente iz rastitel'nogo syr'ya [Ion exchange water purification from heavy metal ions on a sorbent from vegetable raw materials] / S. V. Natareev, A. A. Ryabikov, A. A. Bykov

[et al.]. *Sovremennyye problemy grazhdanskoj zashchity*, 2023, vol. 3, issue 48, pp. 100–106.

3. Ionoobmennoye izvlecheniye ionov dvukhvalentnykh metallov v tarel'chatoy kolonne so vzveshennym sloyem kationita [Ion-exchange extraction of divalent metal ions in a plate column with a suspended layer of cation exchanger] / S. V. Natareev, E. A. Dubkova, T. E. Nikiforova [et al.]. *Izvestiya vuzov. Khimiya i khimicheskaya tekhnologiya*, 2015, vol. 58, issue 1, pp. 75–80.

4. Romankov P. G., Frolov V. F. *Mas-soobmennyye protsessy khimicheskoy tekhnologii (sistemy s dispersnoy tverdoy fazoy)* [Mass transfer processes of chemical technology (systems with dispersed solid phase)]. L.: Khimiya, 1990, 384 p.

5. Kishinevskiy M. H., Kornienko T. S., Karmaev V. N. *Opredeleniye koeffitsiyentov mas-soobmena v kanalakh poristyykh sred* [Determination of mass transfer coefficients in the channels of porous media]. *Termodinamika neobratimyykh protsessov i yeye primeneniye. Chast' 1. Chernovtsy*. 1984, pp. 137–138.

6. Kramovich V. F., Komarovskiy A. A. *Kinetika massoperenosa pri ionnom obmene v*

ionoobmennike s psevdoozhizhennym sloyem. [Kinetics of mass transfer at ion exchange in the fluidized bed ion exchanger]. *Sbornik trudov «Gidrodinamika, teplo- i massoobmen v psevdoozhizhennom sloye»*. Ivanovo, 1971, pp. 127–130.

7. Volzhinsky A. I., Konstantinov V. A. *Regeneratsiya ionoobmennikov. Teoriya protsessa i raschet ustroystv*. [Regeneration of ion exchangers. Theory of the process and calculation of devices]. L.: Khimiya, 1990, 240 p.

8. *Matematicheskoye opisaniye protsessa ionoobmennogo izvlecheniya tyazhelykh metallov na prirodnykh i sinteticheskikh sorbentakh*. [Mathematical description of the process of ion-exchange extraction of heavy metals on natural and synthetic sorbents] / E. A. Dubkova, S. V. Natareev, T. E. Nikiforova [et al.]. *Izvestiya vuzov. Khimiya i khimicheskaya tekhnologiya*, 2013, vol. 56, issue 11, pp. 124–127.

9. Alekseev V. N. *Kolichestvennyy analiz*. [Quantitative analysis]. Ed. P. K. Aghasyan. Moscow: AlianC, 2007, 504 p.

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 614.841.411

**ОЦЕНКА ПОЖАРНОЙ ОПАСНОСТИ И ПОДХОДОВ
К ОГНЕЗАЩИТЕ ДРЕВЕСНО-СТРУЖЕЧНЫХ ПЛИТ**

А. А. КОЧЕТОВА^{1,2}, А. Л. НИКИФОРОВ¹, Н. М. ПАНЕВ¹

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

² ФГБУ СЭУ ФПС ИПЛ по Ивановской области,
Российская Федерация, г. Иваново

E-mail: kochetova-a-a@mail.ru, anikiforoff@list.ru, panm7@mail.ru

В работе представлен краткий обзор научных достижений в области исследований пожарной опасности и огнезащиты древесно-стружечных плит как российскими, так и зарубежными учеными. Отмечено, что в настоящее время изучаемый древесно-плитный материал востребован на рынке жилых домов, а также при строительстве быстровозводимых помещений. Представлена область применения древесно-стружечных плит. Оценена перспективность изготовления таких строительных материалов, выявлены положительные стороны технологии производства с точки зрения пожарной безопасности. В работе сообщаются результаты исследования древесно-стружечных плит методами флуоресцентной и инфракрасной спектроскопии, рассматриваются результаты маломасштабных лабораторных огневых испытаний изучаемого объекта. Отмечено, что используемые физико-химические методы позволяют собирать дополнительную информацию для идентификации древесно-плитных материалов. Обозначены основные перспективные подходы к огнезащите строительных материалов на основе производных древесины. Показано, что результаты работы могут быть использованы в дальнейшем для разработки новых подходов к оценке пожарной опасности древесно-плитных материалов, понимания их поведения при воздействии высоких температур на пожаре и разработки защиты плит от термического разложения. Полученная информация о свойствах древесно-стружечных плит будет полезна и для пожарно-технических специалистов, в частности, при исследовании пожаров.

Ключевые слова: древесно-стружечная плита, пожарная опасность, огнезащита, огнезащитный состав, флуоресцентная и инфракрасная спектроскопия.

**ASSESSMENT OF FIRE HAZARD AND APPROACHES
TO FIRE PROTECTION OF PARTICLE BOARDS**

A. A. KOCHETOVA^{1,2}, A. L. NIKIFOROV¹, N. M. PANEV¹

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 budgetary institution «Judicial-expert institution of The State Fire Service
«Test Fire Laborator» of The Ivanovo Region»
Russian Federation, Ivanovo

E-mail: kochetova-a-a@mail.ru, anikiforoff@list.ru, panm7@mail.ru

The work presents a brief overview of scientific achievements in the study of fire hazard and fire protection of particle boards by both Russian and foreign scientists. It is noted that the studied wood chipboard material is currently in demand in the residential market, as well as in the construction of prefabricated buildings. The field of application of particle boards is presented. The prospects for the manufacture of such building materials are assessed, the positive aspects of the production technology from

the point of view of fire safety of are identified. The work reports the results of a study of particle boards using fluorescent and infrared spectroscopy, and considers the results of small-scale laboratory fire tests of the object under study. It is noted that the used physicochemical methods allow collecting additional information to identify particle board materials. The main promising approaches to fire protection of building materials based on wood derivatives are outlined. It is shown that the results of the work can be used in the future to develop new approaches to assessing the fire hazard of wood-based panel materials, understanding their behavior when exposed to high temperatures during a fire, and developing protection of the panels from thermal destruction. The information obtained about the properties of particle boards will also be useful for fire-fighting specialists, in particular, when studying fires.

Key words: particle board, fire hazard, fire protection, fire protection composition, fluorescence and infrared spectroscopy.

В настоящее время широкое использование находят древесно-стружечные плиты. Так как данные материалы являются производными древесины они сохраняют как положительные характеристики (экологичность, доступность, возобновляемость ресурса, легкая обрабатываемость), так и отрицательные (повышенная пожарная опасность). В Российской Федерации, как и во многих странах мира, наибольшее количество пожаров происходит в жилом секторе, где строения выполнены из древесины и ее производных. Соответственно, при пожарах в таких строениях фиксируется и наибольшее количество погибших и травмированных лиц, высокий риск полной утраты жилых помещений, в которых используют древесно-стружечные плиты. При этом следует отметить, что данный класс материалов развивается, появляются новые образцы с новыми свойствами, поэтому возникает проблема адекватной оценки пожарной опасности. Целью настоящей работы явился анализ подходов к оценке пожарной опасности древесно-стружечных плит как одного из широко представленного материала на строительном рынке. При этом следует также отметить актуальность такого вопроса как снижение пожарной опасности данных материалов. Таким образом, необходимо провести анализ способов оценки пожарной опасности древесно-стружечных плит, изучить поведение данного материала в условиях теплового воздействия для выявления более достоверной информации о свойствах материала.

Древесно-стружечные плиты (ДСП) являются древесными композиционными материалами, в российской технической науке их принято относить к древесно-плитным материалам. ДСП изготавливаются методом горячего прессования древесных частиц (стружки) с специализированными смолами (связующим веществом). В России производственные мощности ДСП распространены во многих регионах страны. Изготовление плит осуществляется обычно на крупных предприятиях, имеющих автоматизированные линии и доступ к лесным

ресурсам. Следует отметить, что для изготовления плит не требуется сортовая древесина высокого качества, чаще всего применяется древесина не ценных пород с различного рода дефектами и степенью влажности, что в свою очередь позволяет экономить ресурсы. На внутреннем рынке ДСП используются для производства мебели и в качестве строительного материала для внутренней отделки, элементов интерьера, обшивки стен. В России большая доля ДСП изготавливается для мебельной промышленности, в зарубежных странах, наоборот, возрастает доля использования древесно-стружечных плит в каркасном панельном домостроении. Технические специалисты отмечают такие преимущества ДСП перед натуральной древесиной, как удобство и легкость ее механической обработки, монтажа и т.п. Отрицательным свойством ДСП, как и древесины, является ее горючесть, биоразлагаемость и необходимость соблюдения уровня токсичности используемых связующих материалов (в частности, предельно допустимой нормы выделения формальдегида из плиты).

Свойства ДСП, в том числе ее поведение при пожаре, зависят от различных факторов: от вида используемого сырья, связующего, технологического режима изготовления, рецептуры, наличия специальных добавок и т.п. Для изготовления ДСП используются формальдегидсодержащие связующие: карбамидоформальдегидные, меламиноформальдегидные, фенолоформальдегидные смолы, которые перед добавлением в древесную стружку также проходят ряд лабораторных испытаний на качество. Чаще всего в России изготавливают плиты обычного качества, при этом в зарубежных странах в связи с развитием деревянного домостроения к таким плитам предъявляют более высокие требования по прочности, токсичности, устойчивости к микроорганизмам и горючести. Поэтому ДСП требуется обработка антисептиками и антипиренами.

Как отмечали отечественные ученые, горючесть древесно-плитных материалов зависит от их плотности, однородности, состава, геометрических размеров, породы древесины. Например, древесина березы более устойчива к загоранию по сравнению с древесиной сосны. Наличие в плитах смол оказывает влияние на повышение дымообразующей способности материала и его токсичности. Но при этом смолы замедляют процесс распространения горения по поверхности. Если говорить о стандартных ДСП, то в условиях реального пожара по сравнению с натуральной древесиной, они обладают большей горючестью из-за более быстрого прогрева плиты и большей скорости выгорания. Это в большей степени нарушает монолитность материала, т.е. в жилом помещении, изготовленном из ДСП, площадь обугливания будет значительно выше, чем для такого же помещения, выполненного из натуральной древесины [1]. Чаще всего в жилых строениях в ходе развившегося пожара, если не были вовремя приняты меры по тушению, конструкции, выполненные из плит, уничтожаются полностью до угольного остатка с разрушением их целостности.

Таким образом, во многих странах в настоящее время сохраняется тенденция к созданию различного рода огнезащитных композиций для строительных материалов, в том числе и ДСП [2–4]. Использование трудногорючих и негорючих ДСП эффективно повысит в целом пожарную безопасность в жилом секторе.

Зарубежные исследователи из Китая в настоящее время много уделяют внимания поиску новых огнезащитных составов для древесно-стружечных плит. Это составы на основе бора, металлов, фосфонитрила, неорганических минералов, на основе биомассы и наноматериалов, вспучивающихся огнезащитных составов и многие другие. Как отмечают китайские ученые, антипирены на основе металлов широко используются в древесно-плитных материалах из-за их экономической эффективности [5]. Малазийскими учеными была разработана огнестойкая древесно-стружечная плита с использованием высушенной масляной пальмы в качестве сырья, включающая гидроксид алюминия и гидроксид магния в качестве антипиренов, с достижением предельных показателей содержания кислорода 28,55 % и 27,95 % соответственно. Из вспучивающихся антипиренов отличные характеристики при нанесении на древесно-плитные материалы показали антипирены на основе полифосфата аммония. Нанесение данного вещества позволило снизить скорость тепловыделения, уменьшить общее тепловыделение, ограничить дымовыделение, увеличить предельный

кислородный индекс [6]. В 2021 году группой турецких ученых также были предложены пропиточные составы на основе буры с добавлением канифоли. Было предложено обрабатывать стружку до момента изготовления плиты, при этом авторы уверяют также о возможном улучшении и механических свойств ДСП [7].

В России исследованием и созданием огнезащитных средств для ДСП занимается группа ученых под руководством А. А. Леоновича, которой были разработаны восемь требований к антипиренам для ДСП, предназначенных к применению в процессе изготовления плит. Отечественные исследователи пришли к выводу, что для ДСП является идеальной комплексная защита, т.е. защита как на стадии изготовления плиты, так и ее поверхностная обработка, при этом обеспечивая декоративность материала. Для изготовления ДСП в наибольшей степени оказались пригодными фосфорсодержащие аддукты, которые синтезируют из фосфорной кислоты и карбамида в присутствии катализаторов по реакции конденсации (антипирен амидофосфат марки КМ, антипирен фосфорамид марки ФКМ). Например, антипирен амидофосфат марки КМ переводит ДСП в группу трудногорючих, умеренно опасных по токсичности продуктов горения, с умеренной дымообразующей способностью [1].

Несмотря на достижения как отечественных, так и зарубежных ученых, на современных предприятиях стараются производить строительные материалы без удорожания продукта, поэтому использование антипиренов не предусмотрено технологиями на деревообрабатывающих заводах по изготовлению ДСП. Соответственно, в зависимости от функционального назначения здания, подбор таких материалов будет осуществляться на основании пройденных испытаний по пожарной опасности, например, оценка воспламеняемости, дымообразующей способности, распространения пламени, определение кислородного индекса, исследования методами термического анализа и другие. Такие методы чаще всего достаточно сложны в эксплуатации, используют много дополнительного оборудования, требующего дополнительной проверки, чаще всего используют для оценки пожарной опасности процесс воздействия лучистого теплового потока.

Древесно-плитные материалы имеются в свободной продаже для населения, поэтому с целью изучения ДСП в бытовых условиях до стадии развившегося пожара, в качестве объекта исследования была выбрана древесно-стружечная плита российского производства. На рис. 1 представлен фрагмент исследуемой ДСП.



Рис. 1. Фрагмент древесно-стружечной плиты

Известны следующие характеристики используемой плиты ДСП: шлифованная, второго сорта, толщиной 16 мм с классом эмиссии E1 по ГОСТ 10632-2007 «Плиты древесно-стружечные. Технические условия», плита водостойкая типа П-Б (33 %). Плотность образцов составила 0,73 г/см³.

Древесно-стружечная плита выполнена таким образом, что верхние слои представляют собой мелкую стружку, внутренние слои выполнены из более крупной стружки. Плита прочная, не изгибается, стружка спрессована

таким образом, что расколоть ее в средней части не представляется возможным. При нагреве образца в муфельной печи до 220 °С поверхности плиты немного темнеют, происходит образование негорючих газов, продуктами разложения в данном случае выступают вода или химическая вода, масса образца убывает на 7,9 % (с 28,48 г до 26,24 г). Термического разложения с образования угольного слоя не происходит. При этом прочность образца теряется, середина образца легко раскалывается посредством механического воздействия.

С целью получения дополнительной информации для идентификации древесно-стружечной плиты были использованы методы флуоресцентной и инфракрасной спектроскопии, которые являются в настоящее время востребованными в области экспертизы пожаров, в области исследования веществ и материалов.

Метод флуоресцентной спектроскопии в данном случае основан на способности флуоресцировать под действием ультрафиолетовых лучей ароматических соединений, присутствующих в древесине. Исследование проводилось с помощью спектрофлуориметра «Флюорат-02-Панорама» (Люмекс, Россия). При обработке полученных результатов использовалось программное обеспечение «PANORAMA PRO» [8, 9]. Объем пробы экстракта составил 15 мкл. Спектр гексанового экстракта из щепы ДСП представлен на рис. 2.

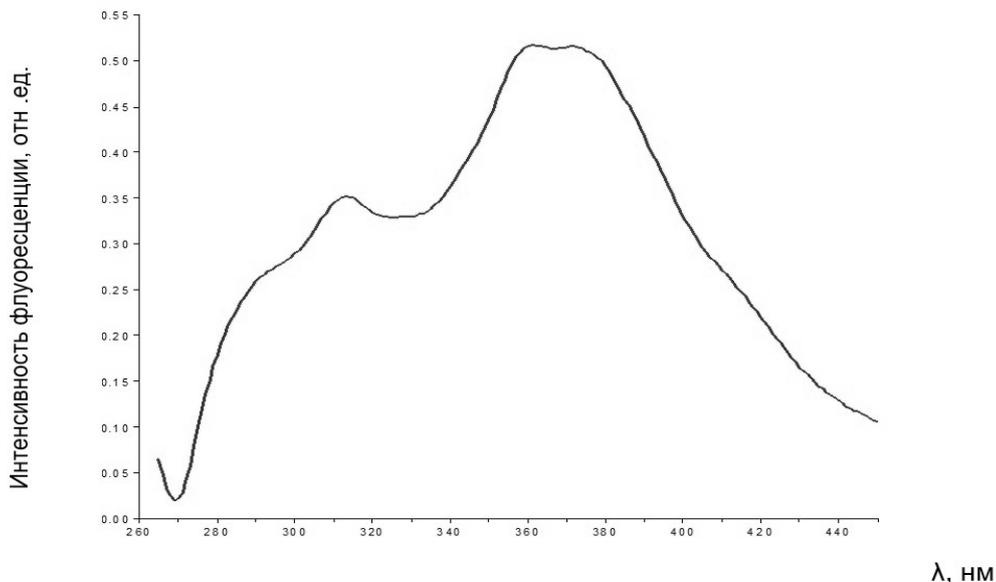


Рис. 2. Спектр флуоресценции гексанового экстракта из щепы ДСП

Спектр был снят при длине волны возбуждающего света 255 нм, в области 300–330 нм и 340–370 нм люминесцируют ароматические структуры, входящие в состав древесины, также свой вклад могут вносить и смолы, применяемые при изготовлении плит.

При дальнейшем исследовании в ходе воздействия мощного источника открытого огня (пламени газовой горелки с внутренним диаметром 7 мм и температурой газообразных продуктов горения около 300 °С) на образец ДСП той же толщины за период времени около 7–8 мин произошло обугливание как внешней поверхности, торцов, так и внутренних слоев стружки, происходило сильное дымовыделение из образца. Угольный слой осыпался, материал имел деструктивные изменения по всей площади образца, легко раскалывался (рис. 3).



Рис. 3. Фрагмент древесно-стружечной плиты после воздействия источника открытого огня

За вышеуказанный период времени на лицевой поверхности образца, обращенной к пламени, температура возросла до 240 °С, на обратной — до 80–90 °С. При уменьшении толщины слоя ДСП в два раза температура лицевой поверхности ДСП достигал 260 °С, произошло растрескивание угольного слоя, появилось свечение на образце, на обратной поверхности образца температура составила уже 140 °С, следовательно, плиты ДСП с меньшей толщиной являются более пожароопасными, прогрев слоев осуществляется быстрее.

В процессе исследования также были получены инфракрасные спектры щепы образца ДСП и угольного слоя ДСП после термического воздействия. Метод инфракрасной спектроскопии является распространенным методом анализа функционального состава химических соединений. Инфракрасный спектр вещества содержит полосы поглощения, соответствующие колебаниям определенных групп атомов, функциональных групп и молекул, входящих в состав данного вещества, и является специфическим свойством каждого соединения. Под влиянием теплового воздействия происходит перестройка органической массы древесины с образованием угля, и это проявляется в изменении его инфракрасного спектра. Инфракрасные спектры были получены, используя метод таблетирования с бромистым калием. Спектры снимали на инфракрасном Фурье-спектрометре ФСМ 1201 (Инфраспек, Россия) в диапазоне 4000–400 см⁻¹. Обработка спектров осуществлялась с помощью программы FSpec 4.0.0.2 [10]. Инфракрасные спектры представлены на рис. 4.

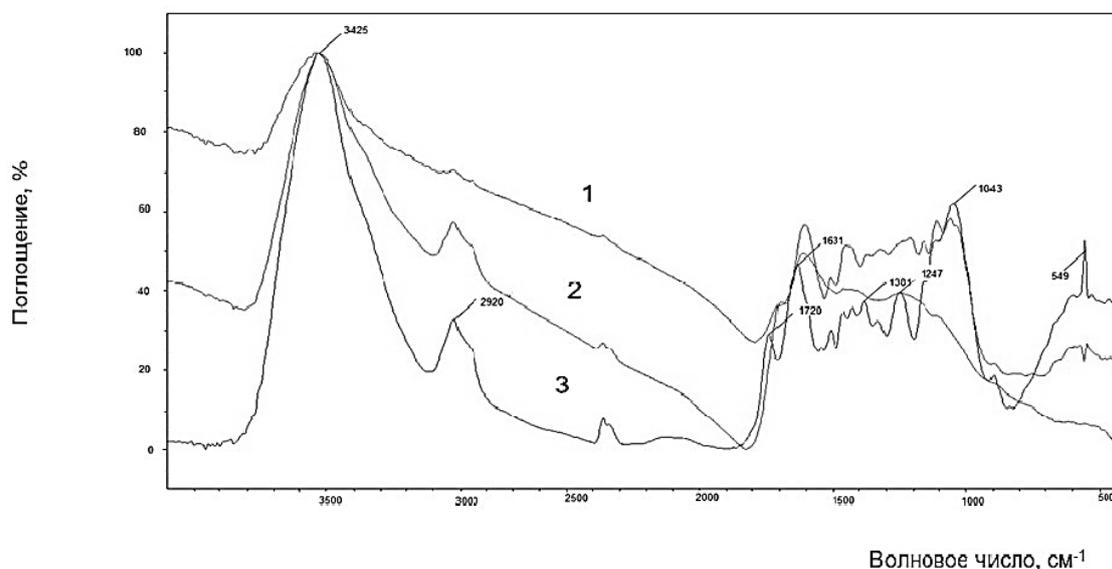


Рис. 4. Инфракрасные спектры: 1 — угольного слоя ДСП пропитанной огнебиозащитным составом; 2 — щепы ДСП; 3 — угольного слоя ДСП после термического воздействия

Инфракрасный спектр исходной ДСП сложный, имеет множество полос. В спектре ДСП после термического воздействия полоса поглощения древесины при $1100\text{--}1000\text{ см}^{-1}$, обусловленная наличием в ней спиртовых и эфирных групп целлюлозы, практически полностью нивелируется. Полоса поглощения ароматических групп около 1600 см^{-1} и полоса $1300\text{--}1200\text{ см}^{-1}$, связанные с наличием в угле ароматических эфиров, остатков лигниноцеллюлозного комплекса, достаточно хорошо выражены в спектре ДСП после термического воздействия.

Далее в ходе исследования с целью оценки возможности использования огнебиозащитных составов для натуральной древесины в случае ДСП на образец материала была нанесена комплексная огнебиозащитная пропитка для древесины, используемая внутри помещений и на открытом воздухе без прямого воздействия атмосферных осадков и контакта с грунтом марки «PROSEPT ОГНЕБИО PROF 1», содержащая в своем составе фосфат-ионы. Как обещают производители данный состав переводит древесину в трудногорючий материал. При воздействии высоких температур действующие вещества пропитки активизируются, увеличиваясь многократно в объеме, с выделением негорючих нетоксичных газов. В результате на поверхности древесины образуется огнестойкий теплоизоляционный слой пенококса толщиной $1\text{--}2\text{ мм}$, который перекрывает доступ кислорода к древесине, не дает возможности древесине поддерживать горение и достигнуть температуры воспламенения.

Поверхность ДСП была обработана кистью вышеуказанным составом, после полного впитывания и оставления на воздухе в течение 24 ч, были проведены аналогичные огневые испытания, что и с необработанной ДСП, испытание проводилось в течение 7–8 мин. В результате испытания было установлено, что на поверхности образца, обращенной к открытому пламени, образовался коксовый плотный слой, количество выделяемого дыма значительно уменьшилось, температура на лицевой стороне составила 86 °C , на обратной стороне – до 36 °C . Температура фиксировалась при помощи пирометра инфракрасного С 300.3. После окончания исследования был снят инфракрасный спектр угольного слоя пропитанной плиты, который представлен на рис. 4. Как видно из графика 1 разрешенность спектра падает, что особенно заметно на участке $1900\text{--}1600\text{ см}^{-1}$. Происходит это, вероятнее всего, за счет увеличения поглощения графитизированных структур в области частот выше 1800 см^{-1} , в области $3000\text{--}2800\text{ см}^{-1}$ интенсивность полос поглощения метильных и метиле-

новых групп резко падает. Спектр подтверждает образованием плотного защитного коксового слоя после обработки специальными пропитками.

На рис. 5 представлен вид пропитанного огнебиозащитным составом фрагмента древесно-стружечной плиты после воздействия источника открытого огня.

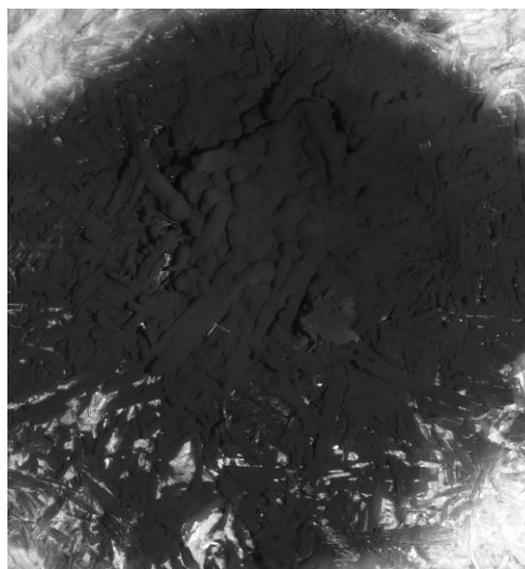


Рис. 5. Фрагмент древесно-стружечной плиты, пропитанной огнебиозащитным составом, после воздействия источника открытого огня (образовался более плотный углистый остаток по сравнению с необработанным образцом)

При удалении угольного слоя с поверхности образца было установлено, что под ним слой стружки деструктурирован, легко рассыпается, прочностные свойства плиты снизились, образец легко разрушался под небольшим механическим давлением, что свидетельствует о невысокой степени защиты стандартных составов, использующихся для древесины.

Следует отметить, что оценка качества огнезащитной обработки древесно-плитных материалов остается проблемным вопросом. В настоящее время для проверки огнезащитной эффективности используют метод, где проводится исследование спила деревянной поверхности с поверхностной огнезащитной обработкой на переносном малогабаритном приборе ПМП-1 согласно ГОСТ Р 53292-2009. Если для обычной древесины можно легко срезать плотную стружку, то для древесно-стружечной плиты такое исследование провести не представляется возможным ввиду рассыпания материала.

На основании проведенного исследования можно прийти к выводу, что существую-

щие методы оценки пожароопасных свойств древесно-стружечных плит и подобных материалов, являющихся производными древесины, не в полной мере и не всегда корректно позволяют оценить пожарную опасность указанных материалов. Например, оценка показателей скорости распространения пламени по древесно-плитным материалам требует доработки, так как существующий метод предполагает горизонтальное расположение образцов, т.е. испытания проводят только для напольных покрытий и кровли. Хотя в настоящее время данные материалы все чаще используются в качестве стен, перегородок, что, несомненно, требует проведения испытаний их в вертикальном положении для учета распространения горения на верхние помещения, выполненные из таких материалов. При оценке воспламеняемости и горючести в основном используют воздействие на материал лучистых тепловых потоков (в инфракрасной области спектра). При этом в реальных условиях древесно-стружечные материалы в большей сте-

пени разрушаются и воспламеняются в условиях воздействия открытого пламени, поэтому необходимо производить корректировки методов оценки пожарной опасности древесно-стружечных плит (замена источника зажигания, подбор температурных режимов), адаптированных для точного определения распределения температур поверхностей и соответствующего повышения температуры для огнестойких древесно-стружечных плит. Так как данные материалы производятся с использованием органических связующих (полиэфирных, эпоксидных смол) не всегда возможно использовать традиционные защитные составы для снижения их пожарной опасности. Древесина имеет развитую поверхность с капиллярной системой, которая в древесно-стружечных плитах заполнена смолами, поэтому необходима разработка антипиренов с учетом структурных особенностей таких материалов, например, введения антипиренов на стадии формирования ДСП, при горении разлагающихся с выделением горючих газов.

Список литературы

1. Леонович А. А., Шпаковский В. Г. Древесностружечные плиты. Огнезащита и технология: Монография. СПб.: Издательство «Лань», 2021. 160 с.
2. Разработка нового подхода к обеспечению защиты строительных конструкций из древесины и материалов на ее основе от воздействия высоких температур и открытого пламени / Е. А. Сиплатов, А. Л. Никифоров, Панев Н. М. [и др.] // Современные проблемы гражданской защиты. 2023. № 1 (46). С. 136–144.
3. Актуальные вопросы разработки огнезащитных композиций для древесины / Н. М. Панев, А. А. Воронцова, В. А. Комельков, [и др.] // Известия высших учебных заведений. Технология легкой промышленности. 2017. № 2 (36). С. 66–69.
4. Воронцова А. А., Александров А. А., Панев Н. М. Огнезащита деревянных конструкций общественных зданий с массовым пребыванием людей // Обеспечение безопасности жизнедеятельности: проблемы и перспективы: материалы XI Международной научно-практической конференции молодых ученых: курсантов (студентов), слушателей магистратуры и адъюнктов (аспирантов). Минск: Университет гражданской защиты МЧС Беларуси, 2017. С. 29–30.

5. Analyzing Temperature Distribution Patterns on the Facing and Backside Surface: Investigating Combustion Performance of Flame-Retardant Particle Boards Using Aluminum

Hypophosphite, Intumescent, and Magnesium Hydroxide Flame Retardants / Pan F., Jia H., Huang Y. [et al.]. *Polymers*, 2023, vol. 15, 4479, pp. 1–17. <https://doi.org/10.3390/polym15234479>.

6. Flame retardant properties of oil palm trunk particleboard with addition of epoxy resin as a binder and aluminium hydroxide and magnesium hydroxide as additives / Baskaran M., Hashim R., Leong J. Y. [et al.]. *Bull. Mater. Sci.*, 2019, vol. 42, 138, pp. 1–8. <https://doi.org/10.1007/s12034-019-1785-5>.

7. Asci T., Kucuktuvek M. and Keskin H. Increasing the fire resistance of particleboard used in architecture with colophony doped boron compounds, *Politeknik Dergisi*, 2022, vol. 25 (3), pp. 1157–1165. DOI: 10.2339/politeknik.895063.

8. Чешко И. Д., Плотников В. Г. Анализ экспертных версий возникновения пожара. СПб: СпбФ ФГБУ ВНИИПО МЧС России, Кн. 2, 2012. 364 с.

9. Чешко И. Д. Экспертиза пожаров (объекты, методы, методики исследования). СПб.: СпбИГБ МВД России, 1997. 562 с.

10. Принцева М. Ю., Клаптюк И. В., Чешко И. Д. Экспертное исследование антипиренованной древесины и ее обгоревших остатков. СПб.: ФГБОУ ВО «СПб университет ГПС МЧС России», 2019. 92 с.

References

1. Leonovich A. A., Shpakovskij V. G. *Drevesnostruzhechnye plity. Ogneshhita i tekhnologiya: Monografiya* [Particleboards. Fire

protection and technology: Monograph]. SPb.: Izdatel'stvo «Lan'», 2021. 160 p.

2. Razrabotka novogo podkhoda k obespecheniyu zashhity stroitel'nykh konstruksij iz drevesiny i materialov na ee osnove ot vozdejstviya vysokikh temperatur i otkrytogo plameni [Development of a new approach to the protection of building structures made of wood and wood-based materials from high temperatures and open flames] / E. A. Siplatov, A. L. Nikiforov, N. M. Panev [et al.]. *Sovremennye problemy grazhdanskoj zashhity*, 2023, vol. 1 (46), pp. 136–144.

3. Aktual'nye voprosy razrabotki ognезashhitnykh kompozitsij dlya drevesiny [Actual issues of development of fire retardant compositions for wood] / N. M. Panev, A. A. Vorontsova, V. A. Komel'kov [et al.]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenij. Tekhnologiya legkoj promyshlennosti*, 2017, vol. 2 (36), pp. 66–69.

4. Vorontsova A. A., Aleksandrov A. A., Panev N. M. Ognезashhita derevyannykh konstruksij obshhestvennykh zdaniy s massovym prebyvaniem lyudej [Fire protection of wooden structures of public buildings with mass stay of people]. *Obespechenie bezopasnosti zhiznedeyatel'nosti: problemy i perspektivy: materialy XI Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferentsii molodykh uchenykh: kursantov (studentov), slushatelej magistratury i ad'yunktov (aspirantov)*. Minsk: Universitet grazhdanskoj zashhity MCHS Belarusi, 2017, pp. 29-30.

5. Analyzing Temperature Distribution Patterns on the Facing and Backside Surface:

Investigating Combustion Performance of Flame-Retardant Particle Boards Using Aluminum Hypophosphite, Intumescent, and Magnesium Hydroxide Flame Retardants / Pan F., Jia H., Huang Y. [et al.]. *Polymers*, 2023, vol. 15, 4479, pp. 1–17. <https://doi.org/10.3390/polym15234479>.

6. Flame retardant properties of oil palm trunk particleboard with addition of epoxy resin as a binder and aluminium hydroxide and magnesium hydroxide as additives / Baskaran M., Hashim R., Leong J. Y. [et al.]. *Bull. Mater. Sci.*, 2019, vol. 42, 138, pp. 1–8. <https://doi.org/10.1007/s12034-019-1785-5>.

7. Asci T., Kucuktuek M. and Keskin H. Increasing the fire resistance of particleboard used in architecture with colophony doped boron compounds, *Politeknik Dergisi*, 2022, vol. 25 (3), pp. 1157–1165. DOI: 10.2339/politeknik.895063.

8. Cheshko I. D., Plotnikov V. G. *Analiz ehkspertnykh versij vozniknoveniya pozhara* [Analysis of expert versions of the fire origin]. SPb.: SpbF FGBU VNIPO MCHS Rossii, vol. 2, 2012. 364 p.

9. Cheshko I. D. *Ehkspertiza pozharov (ob'ekty, metody, metodiki issledovaniya)* [Examination of fires (objects, methods, research techniques)]. SPb.: SPbIPB MVD Rossii, 1997. 562 p.

10. Printseva M. Yu., Klapyuk I. V., Cheshko I. D. *Ehkspertnoe issledovanie antipirovannoj drevesiny i ee obgorevshikh ostatkov* [Expert examination of fire retarded wood and its burnt residues]. SPb.: FGBOU VO «SPb universitet GPS MCHS Rossii», 2019. 92 p.

Кочетова Анна Анатольевна

Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,

Российская Федерация, г. Иваново

адъюнкт заочной формы обучения

ФГБУ СЭУ ФПС ИПЛ по Ивановской области,

Российская Федерация, г. Иваново

старший эксперт сектора судебных экспертиз

E-mail: kochetova-a-a@mail.ru

Kochetova Anna Anatolyevna

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

Federal state budgetary institution «Judicial-expert institution of The State Fire Service «Test Fire Laborator»

of The Ivanovo Region»

Russian Federation, Ivanovo

senior expert of the Forensic Science sector

E-mail: kochetova-a-a@mail.ru

Никифоров Александр Леонидович

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

доктор технических наук, старший научный сотрудник

E-mail: anikiforoff@list.ru

Nikiforov Aleksandr Leonidovich

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

Russian Federation, Ivanovo

doctor of technical sciences, senior researcher

E-mail: anikiforoff@list.ru

Панев Никита Михайлович

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

кандидат технических наук

E-mail: panm7@mail.ru

Panyov Nikita Mikhailovich

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

Russian Federation, Ivanovo

candidate of technical sciences

E-mail: panm7@mail.ru

УДК 614.841.411

ФОРМИРОВАНИЕ ИНФОРМАЦИОННОЙ БАЗЫ ДЛЯ РАСЧЕТА РЕСУРСНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПОЖАРНОЙ ОХРАНЫ ПО ЗАЩИТЕ ОРГАНИЗАЦИЙ ОТ ПОЖАРОВ

**П. А. МАРАХОВ, А. А. ПОРОШИН, О. В. СТРЕЛЬЦОВ,
А. А. КОНДАШОВ, Е. В. БОБРИНЕВ, Е. Ю. УДАВЦОВА**

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, разработана анкета и проведен сбор информации по тактико-техническим и иным параметрам организаций, на которых создаются такие подразделения. Собраны сведения о более чем 700 производственных объектах, расположенных в 72 субъектах Российской Федерации. Проведено изучение полученной информации методами статистического и экспертного анализа. Проанализирован состав экспертов, отвечавших на вопросы анкеты, по занимаемой должности, образованию, стажу работы. Изучены особенности производственных объектов с учетом их отраслевой принадлежности (площадь территории, площадь застройки, численность персонала, в том числе в наиболее загруженную смену, и др.). Полученные результаты будут использованы для выработки научно-обоснованных подходов к определению количества и мест дислокации объектовых подразделений пожарной охраны, а также для обоснования требуемой численности личного состава, типа и минимально необходимого количества основных и специальных автомобилей, привлекаемых к тушению пожаров на производственных объектах организаций.

Ключевые слова: объектовая пожарная охраны, производственный объект, экспертная оценка, ресурсное обеспечение, пожар

FORMATION OF AN INFORMATION BASE FOR CALCULATING THE RESOURCE PROVISION OF FIRE PROTECTION TO PROTECT ORGANIZATIONS FROM FIRES

**P. A. MARAKHOV, A. A. POROSHIN, O. V. STRELTSOV,
A. A. KONDASHOV, E. V. BOBRINEV, E. Y. UDAVTSOVA**

Federal State Budgetary Establishment
«All-Russian Research Institute for Fire Protection of the Ministry of the Russian Federation
for Civil Defence, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters»,
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, a questionnaire was developed and information was collected on tactical, technical and other parameters of organizations where such units are created. Information has been collected on more than 700 production facilities located in 72 regions of the Russian Federation. The study of the information obtained by methods of statistical and expert analysis was carried out. The composition of the experts who answered the questionnaire questions was analyzed, according to their position, education, and work experience. The features of production facilities have been studied, taking into account their industry affiliation (territory area, building area, number of personnel, including during the busiest shift, etc.). The results obtained will be used to develop scientifically sound approaches to determining the number and locations of fire protection units, as well as to justify the required number of personnel, type and minimum required number of basic and special vehicles involved in extinguishing fires at production facilities of organizations.

Keywords: object fire protection, production facility, expert assessment, resource provision, fire

Для совершенствования положений Методики расчета численности и технической оснащенности подразделений пожарной охраны, утвержденной приказом МЧС России¹ были разработаны научно-методические подходы и математические модели по определению состава сил и средств территориальных подразделений пожарной охраны [1]. С учетом положений статьи 76 Федерального закона² введено такое понятие как «базовый радиус обслуживания пожарной части». Предложен метод по определению его значения для городских и сельских населенных пунктов [2]. На основе «базового радиуса обслуживания пожарной части» разработан порядок расчета количества подразделений пожарной охраны и границ района (подрайона) их выезда в населенном пункте с учетом природно-климатических условий и особенностей транспортной инфраструктуры населенного пункта [3]. Количественный состав основных пожарных автомобилей в территориальном подразделении пожарной охраны определяется с учетом количества одновременных пожаров и расхода воды на наружное пожаротушение [4]. При расчете учитываются особенности объектов защиты по пожарной опасности в районе выезда подразделения, в том числе зданий (сооружений) IV и V степеней огнестойкости, а также наличие безводных участков территорий в населенном пункте. Предложены варианты определения количества специальных пожарных автомобилей в зависимости от численности населения и особенностей инфраструктуры населенного пункта.

Исходные данные для проведения расчетов по предложенным математическим моделям определялись из официальных информационных ресурсов Росстата России.

Выбор исходных показателей производственных объектов обусловлен содержанием раздела II Приказа МЧС России от 15 октября 2021 г. № 700 «Об утверждении методик расчета численности и технической оснащенности подразделений пожарной охраны» «Подготовка исходных данных для расчета численности и технической оснащенности объектовых подразделений пожарной охраны». Для оценки влияния на расчет ресурсного обеспечения пожарной охраны по защите организаций от пожаров для конкретного объекта планируется

разработать математическую модель, параметры которой (вошедшие в модель) будут каждый раз заменяться показателями конкретного объекта.

Аналогичные исследования проводятся для формирования научно-методических положений совершенствования Методики [1] в части расчета численности и технической оснащенности для подразделений пожарной охраны, создаваемых для тушения пожаров и проведения аварийно-спасательных работ в организациях (далее – объектовые подразделения пожарной охраны).

Как показал анализ имеющихся официальных ресурсов Росстата России и иных информационных систем, для формирования массива исходных данных для проведения расчетов по обоснованию ресурсного обеспечения объектовых подразделений пожарной охраны, необходимо провести значительные по объему исследования — сбор данной информации по организациям, на которых создаются объектовые подразделения пожарной охраны.

Для этой цели была разработана анкета сбора информации по тактико-техническим и иным параметрам организаций. На рис. 1 приведен фрагмент данной анкеты.

В частности, собирались следующие информационные атрибуты организаций:

В разделе «Сведения об объекте» формировался массив сведений о тактико-технических параметрах производственного объекта:

- отраслевая принадлежность;
- площадь территории, м²;
- площадь застройки, м²;
- численность персонала, чел.;
- масса единовременно обращающихся в наружных технологических установках пожароопасных, пожаровзрывоопасных и взрывоопасных технологических сред, тонн;
- площадь зданий (сооружений) V степени огнестойкости, м²;
- площадь застройки производственного объекта зданиями (сооружениями) и помещениями, отнесенными к определенным категориям взрывопожароопасности, м²;
- фактическое количество пожаров в течение 5 лет, ед.;
- наличие технологических процессов, в которых присутствует обращение взрывопожароопасных веществ и материалов, для тушения которых используются такие огнетушащие вещества, как порошки, газы, пенообразователи и др.

¹ Об утверждении методик расчета численности и технической оснащенности подразделений пожарной охраны. Приказ МЧС России от 15.10.2021 № 700. URL: <https://docs.cntd.ru/document/727092720>

² Федеральный закон от 22 июля 2008 года № 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» // Собрание законодательства Российской Федерации, 2016, № 27, ст.4234.

А. Персональные данные эксперта

1. Занимаемая должность _____

2. Сведения об образовании

| | | | | |
|---|--------------------------|--------------------|--------------------------|--------------------------|
| среднее | <input type="checkbox"/> | высшее | <input type="checkbox"/> | |
| среднее специальное | <input type="checkbox"/> | высшее техническое | пожарно- | <input type="checkbox"/> |
| среднее специальное пожарно-техническое | <input type="checkbox"/> | | | |

3. Стаж работы в пожарной охране лет

4. Стаж работы в занимаемой должности лет

Б. Сведения о тактико-технических параметрах производственного объекта

1. Наименование подразделения пожарной охраны: _____

1.1. Укажите адрес размещения подразделения пожарной охраны: _____

1.2. Укажите тип населенного пункта, в котором размещается подразделение пожарной охраны:

сельский городской вне черты населенного пункта

Рис. 1. Фрагмент анкеты сбора информации по тактико-техническим и иным параметрам организаций, на которых созданы объектовые подразделения пожарной охраны

В разделе «Сведения об объекте» формируются сведения об объектовом подразделении пожарной охраны:

- основание размещения подразделения пожарной охраны на производственном объекте;
- номер (ранг) пожара на производственном объекте в соответствии с расписанием выезда пожарно-спасательного гарнизона;
- расстояние по транспортной сети от производственного объекта до подразделения пожарной охраны местного пожарно-спасательного гарнизона, прибывающего на производственный объект в соответствии с расписанием выездов и вид данного подразделения;
- количество зданий пожарных депо и их тип;
- тип и количество пожарных автомобилей, имеющих в подразделении пожарной охраны производственного объекта и др.

Для облегчения обработки анкет разработан макрос, написанный на встроенном в Excel языке VBA (Visual Basic for Application) [5], который позволяет записать данные из всех анкет в один файл для последующего анализа.

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

В качестве экспертов, заполнявших анкеты, чаще всего выступали начальники подразделений пожарной охраны (в 48,8 % случаев) или их заместители (7 %) (рис. 2)³. Большинство экспертов имеют высшее и высшее пожарно-техническое образование (соответственно 36,7 % и 39,9 %). Больше всего экспертов имеют стаж работы в пожарной охране от 21 до 25 лет (20,7 %) и от 26 до 30 лет (17,2 %). Стаж работы в занимаемой должности большинства экспертов лежит в пределах от 2 до 5 лет (35,9 %) и от 6 до 10 лет (24,1 %).

³ Экспертные оценки. StatSoft: SPC Consulting. <http://www.spc-consulting.ru/app/expert.htm>

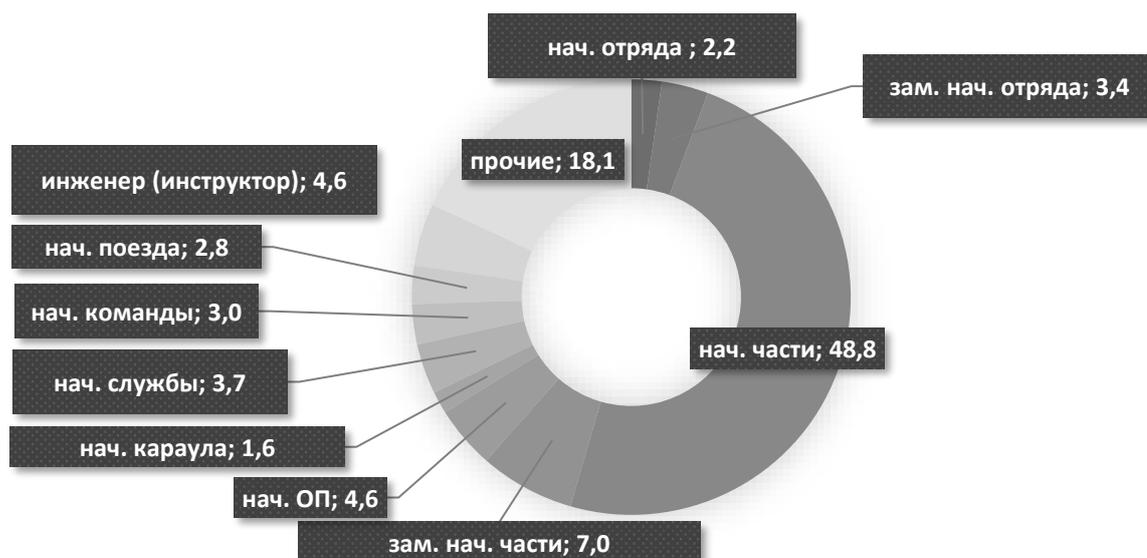


Рис. 2. Распределение экспертов по занимаемым должностям

Больше всего производственных объектов относятся к топливной промышленности (38,1%), к химической и нефтехимической промышленности (15,7%), к транспорту (8,5%), к машиностроению и металлообработке (8,1%) и к электроэнергетике (7,4%). Больше 4% приходится на производственные объекты черной металлургии, легкой промышленности, лесной, деревообрабатывающей и целлюлозно-бумажной промышленности, судостроения и судоремонта. Объекты цветной металлургии занимают долю 1,7%. На производственные объекты остальных отраслей приходится в общей сложности 17,1%.

Дальнейший анализ проводился с учетом отраслевой принадлежности производственных объектов, представленных в таблице.

На рис. 3 показана средняя площадь производственных объектов для разных отраслей производства. Наибольшую площадь имеют объекты транспорта – в среднем 1810 га, топливной промышленности – 1012 га, черной металлургии – 603 га.

Средняя площадь застройки зданиями и сооружениями производственных объектов показана на рис. 4. Наибольшую площадь застройки имеют объекты черной металлургии – в среднем 588 тыс. м² на один объект, электроэнергетики – 366 тыс. м², машиностроения – 257 тыс. м².

Наибольшую площадь застройки имеют объекты черной металлургии – в среднем 414 тыс. м² на один объект, химической и нефтехимической промышленности – 135 тыс. м², судостроения и судоремонта – 114 тыс. м².

Таблица. Отрасли производства производственных объектов, охраняемых объектовыми подразделениями пожарной охраны

| № п/п | Отрасль производства | Количество анкет, шт. | Доля, % |
|-------|--|-----------------------|---------|
| 1 | Легкая промышленность | 28 | 4,4 |
| 2 | Лесная, деревообрабатывающая и целлюлозно-бумажная | 27 | 4,3 |
| 3 | Машиностроение и металлообработка | 51 | 8,1 |
| 4 | Судостроение и судоремонт | 26 | 4,1 |
| 5 | Топливная промышленность | 241 | 38,1 |
| 6 | Транспорт | 54 | 8,5 |
| 7 | Химическая и нефтехимическая | 6 | 0,9 |
| 8 | Цветная металлургия | 99 | 15,7 |
| 9 | Черная металлургия | 11 | 1,7 |
| 10 | Электроника | 28 | 4,4 |
| 11 | Иные отрасли | 102 | 17,1 |

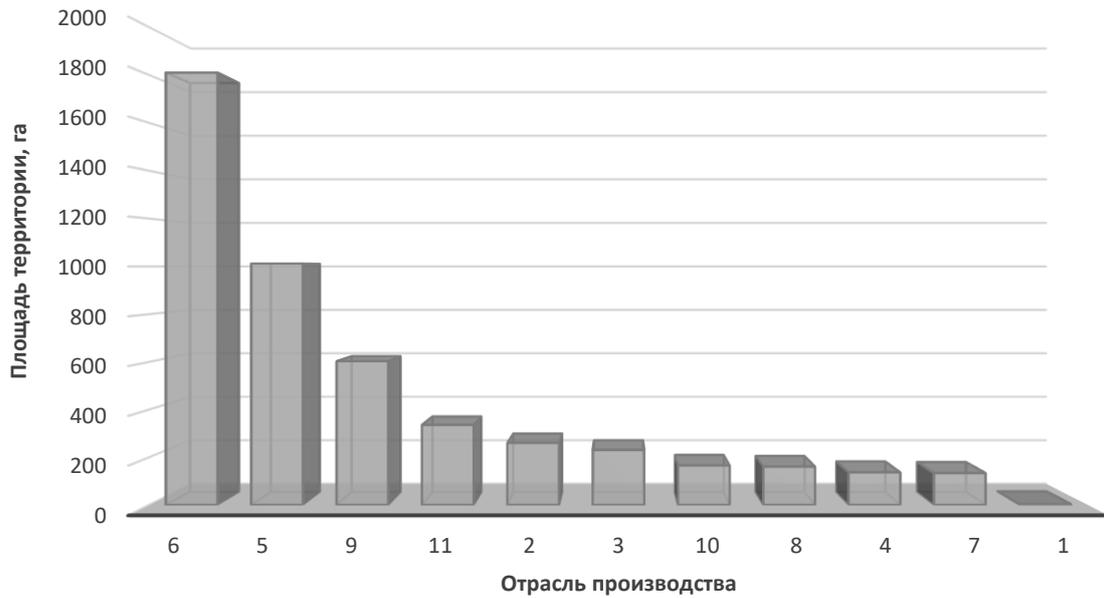


Рис. 3. Средняя площадь производственных объектов в зависимости от отраслевой принадлежности

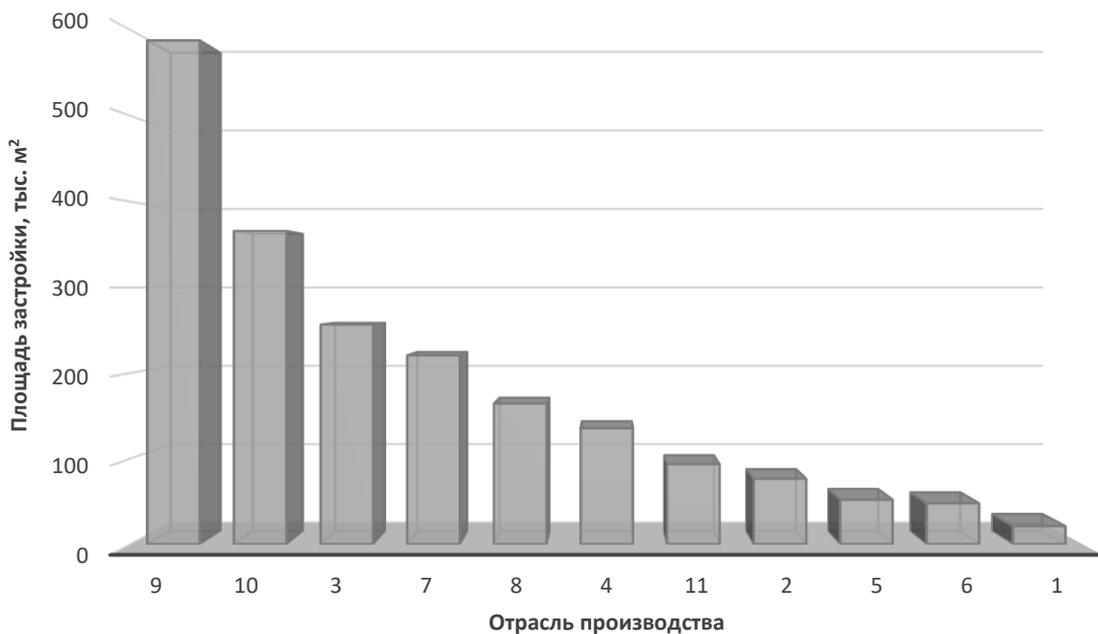


Рис. 4. Средняя площадь застройки (здания и сооружения) производственных объектов в зависимости от отраслевой принадлежности

Средняя численность персонала производственных объектов по отраслям производства приведена на рис. 5. Наибольшая численность персонала на предприятиях черной металлургии – в среднем 14,4 тыс. человек на один производственный объект, машиностроения – 3,6 тыс. человек, судостроения и судоремонта – 2,3 тыс. человек.

Наибольшая численность персонала в наиболее загруженную смену на предприятиях черной металлургии – в среднем 5,7 тыс. человек на один производственный объект, машиностроения – 2,5 тыс. человек, судостроения и судоремонта – 1,7 тыс. человек.

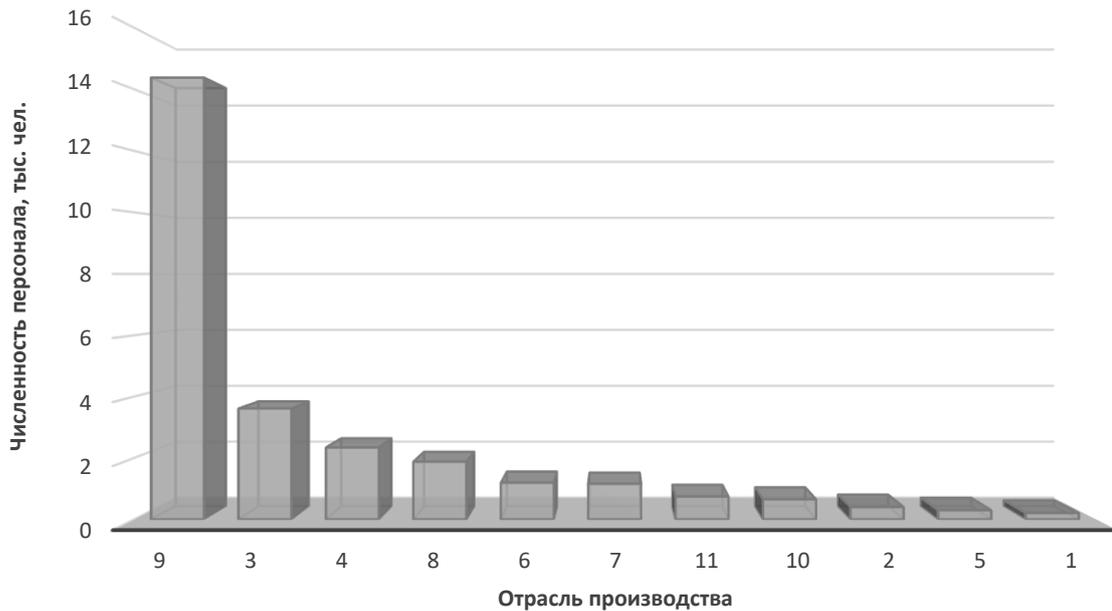


Рис. 5. Средняя численность персонала производственных объектов по отраслям производства

Выводы

1. Для информационного обеспечения расчетов ресурсного обеспечения объектов подразделений пожарной охраны разработана анкета по тактико-техническим и иным параметрам организаций. Массив исходных данных собран по более чем 700 промышленным предприятиям.

2. Методами статистического и экспертного анализов проведена обработка собранного массива данных и проведен их анализ.

3. Большинство объектовых подразделений пожарной охраны размещается в городских населенных пунктах (47,7 %). Средняя площадь производственных объектов варьируется в широких пределах от 4 га для легкой

промышленности до 1800 га для объектов транспорта. Наибольшая численность персонала на предприятиях черной металлургии — в среднем 14,4 тыс. человек на один производственный объект. При этом в наиболее загруженную смену занято в среднем 5,7 тыс. человек.

4. В целях совершенствования «Методики расчета численности и технической оснащённости подразделений пожарной охраны», представленной в приказе МЧС России от 15 октября 2021 г. № 700, разработана система исходных данных для построения математической модели, включая совокупность значимых показателей производственных объектов, которые будут использованы для оценки сил и средств производственных объектов.

Список литературы

1. Разработка научно-обоснованных предложений по обоснованию сил и средств территориальных подразделений пожарной охраны 2023 г. // Отчет о НИР. М., 2023. 238 с.

2. Определение области нормативного обслуживания подразделения пожарной охраны / В. А. Маштаков, О. В. Стрельцов, Е. В. Бобринев [и др.] // Безопасность жизнедеятельности. 2024. № 1(277). С. 52-56.

3. Влияние природно-климатических и географических особенностей субъектов Российской Федерации на деятельность подразделений пожарной охраны / О. В. Стрельцов, Е. В. Бобринев, Е. Ю. Удавцова [и др.] // Без-

опасность техногенных и природных систем. 2024. Т. 8, № 1. С. 20–29.

4. Оценка количества одновременных пожаров в населённых пунктах по сезонам года / А. А. Порошин, А. А. Кондашов, Е. В. Бобринев [и др.] // Технологии техносферной безопасности. 2022. № 3 (97). С. 25–36.

5. Комолова Н. В., Клименко А. В. Программирование на VBA в Excel 2019. Самоучитель. СПб.: БХВ-Петербург, 2020. 496 с.

References

1. Razrabotka nauchno-obosnovannyh predlozhenij po obosnovaniyu sil i sredstv territorial'nyh podrazdelenij pozharnoj ohrany 2023 g.

[Development of scientifically based proposals to substantiate the forces and means of territorial fire protection units in 2023]. Moscow: Otchet o NIR, 2023, 238 p.

2. Opredelenie oblasti normativnogo ob-sluzhivaniya podrazdeleniya pozharnoj ohrany [The influence of natural, climatic and geographical features of the subjects of the Russian Federation on the activities of fire protection units] / V. A. Mashtakov, O. V. Strel'cov, E. V. Bobrinev [et al.]. *Bezopasnost' zhiznedeyatel'nosti*, 2024, issue 1, pp. 52–56.

3. Vliyaniye prirodno-klimaticheskikh i geograficheskikh osobennostej sub"ektov Rossijskoj Federacii na deyatel'nost' podrazdelenij pozharnoj ohrany [The influence of natural, climatic and ge-

ographical features of the subjects of the Russian Federation on the activities of fire protection units] / O. V. Strel'cov, E. V. Bobrinev, E. Yu. Udavcova [et al.]. *Bezopasnost' tekhnogennyh i prirodnyh system*, 2024, vol. 8, issue 1, pp. 20–29.

4. Ocenka kolichestva odnovremennyh pozharov v naselyonnyh punktah po sezonam goda [Estimation of the number of simultaneous fires in populated areas by season] / A. A. Poroshin, A. A. Kondashov, E. V. Bobrinev [et al.]. *Tekhnologii tekhnosfernoj bezopasnosti*, 2022, vol. 3 (97), pp. 25–36.

5. Komolova N. V., Klimenko A. V. *Programmirovaniye na VBA v Excel 2019. Samouchitel'* [VBA Programming in Excel 2019. Self-Tutorial]. SPb.: BHV-Peterburg, 2020, 496 p.

Марахов Павел Анатольевич

Главное управление МЧС России,
Российская Федерация, г. Москва

заместитель начальника Главного управления – начальник Управления организации деятельности пожарной охраны

E-mail: otchel_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: otchel_1_3@mail.ru

Порошин Александр Алексеевич

ФГБУ ВНИИПО МЧС России,

Российская Федерация, г. Балашиха

доктор технических наук, главный научный сотрудник

E-mail: otchel_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: otchel_1_3@mail.ru

Стрельцов Олег Васильевич

ФГБУ ВНИИПО МЧС России,

Российская Федерация, г. Балашиха

заместитель начальника отдела

E-mail: otchel_1_3@mail.ru

Streltsov Oleg Vasilyevich

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

Deputy head of Department

E-mail: otchel_1_3@mail.ru

Кондашов Андрей Александрович

ФГБУ ВНИИПО МЧС России,

Российская Федерация, г. Балашиха

кандидат физико-математических наук, ведущий научный сотрудник

E-mail: otdel_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: otdel_1_3@mail.ru

Бобринев Евгений Васильевич

ФГБУ ВНИИПО МЧС России,

Российская Федерация, г. Балашиха

кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник

E-mail: otdel_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: otdel_1_3@mail.ru

Удавцова Елена Юрьевна

ФГБУ ВНИИПО МЧС России,

Российская Федерация, г. Балашиха

кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник

E-mail: otdel_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: otdel_1_3@mail.ru

УДК 614.842.68

О СОЗДАНИИ СИСТЕМЫ КЛАССИФИКАЦИИ ОПАСНОСТЕЙ ОБЪЕКТА ПОЖАРА ДЛЯ СОТРУДНИКОВ И РАБОТНИКОВ ФПС

Е. А. МЗОКОВА, А. Д. ИЩЕНКО
ФГБОУ ВО АГПС МЧС России,
Российская Федерация, г. Москва
E-mail: soprunovakate@mail.ru, adinko@mail.ru

В представленной работе проведен анализ нормативно правовой базы в области регламентирующей нормы и правила пожарной безопасности по отношению к объектам пожара с целью выявления возможных нарушений, способных повлиять на травмирование и гибель сотрудников и работников Федеральной противопожарной службы (далее – ФПС). На основании проведенного в исследовании анализа предложена классификация опасностей объекта пожара для участников боевых действий по тушению пожара. Предложенная классификация станет основой для разработки порядка информирования работников и сотрудников Федеральной противопожарной службы о существующем риске при выполнении основной боевой задачи.

Ключевые слова: система информирования участников боевых действий по тушению пожара, профессиональный риск, оценка профессионального риска, основная боевая задача, опасность объекта пожара, классификация опасностей объекта пожара.

ON THE CREATION OF A SYSTEM FOR CLASSIFICATION OF FIRE HAZARDS FOR EMPLOYEES AND WORKERS OF THE FFS

E. A. MZOKOVA, A. D. ISHCENKO
Academy of State Fire Service of EMERCOM of Russia,
Russian Federation, Moscow
E-mail: soprunovakate@mail.ru, adinko@mail.ru

The presented work analyzes the normative and legal framework in the field of regulating the norms and rules of fire safety in relation to fire objects in order to identify possible violations that can affect the injury and death of officers and employees of the Federal Fire Fighting Service (hereinafter referred to as "FPS"). On the basis of the analysis carried out in the study, a classification of fire object hazards for participants of combat firefighting operations is proposed. The proposed classification will be the basis for the development of the procedure for informing employees and staff of the Federal Fire Fighting Service about the existing risk in the performance of the main combat task.

Key words: system of informing combatants on fire extinguishing, occupational risk, occupational risk assessment, main combat task, fire object danger, classification of fire object danger.

Введение

Сотрудники и работники ФПС занимающиеся организацией и проведением тушения пожаров, а также проведением аварийно-спасательных работ, оказываются в обстоятельствах, непосредственно связанных с риском причинения вреда жизни и здоровью. Для снижения уровня профессионального риска до минимальных значений при выполнении основной боевой задачи, участники боевых действий по тушению пожара должны обладать достоверной информацией об объекте пожара. Система информирования участников боевых действий по тушению пожара в этом

случае должна давать оперативное представление об опасностях объекта пожара в обобщенном виде.

Законодательно определено, что сотрудник организации имеет право на безопасность при исполнении своих обязанностей, при этом работодатель обязан обеспечить данные условия труда. Внесенные в 2021 году изменения в ст. 216 и ст. 216.2 Трудового кодекса Российской Федерации устанавливают, что каждый сотрудник организации имеет право на получение конкретной и объективной информации о мерах охраны труда на своем рабочем месте, профессиональных рисках и уровнях их опасности, а также о мерах, направленных на предотвращение воздействия вредных

и опасных производственных факторов в области охраны труда. Профессиональный риск пожарного – высокий (повышенный) уровень профессиональной опасности причинения физического, химического и психологического вреда жизни и здоровью пожарного в результате выполнения основной задачи [1, 4]. При этом необходимо понимать, что степень профессионального риска выше, чем степень производственного риска, так как для сотрудников и работников ФПС объект пожара является их рабочим местом при выполнении основной боевой задачи, а непосредственной трудовой задачей является выполнение данной задачи. Учитывая феномен риска в целом, стоит отметить, что в данной работе рассматривается конструктивный подход стимулирующей функции, представленный в качестве обоснованного профессионального риска. Главная цель данного подхода заключается в легализации рискованных действий, выполняемых определенными должностными лицами, учитывая предъявляемые к ним требования при реализации своих должностных обязанностей [2]. Реализация безопасных условий труда в данном случае начинается с информирования о существующих опасностях при выполнении работ. Таким образом, в условиях сведения профессионального риска пожарного к нулю работодатель обязан проинформировать участников боевых действий по тушению пожаров о существующих и/или возможных опасностях объекта пожара. В данном случае, система информирования участников боевых действий по тушению пожара (далее – система информирования) должна обеспечивать оперативное представление об обобщенных опасностях объекта тушения пожара. Критерии оценки профессионального риска в деятельности пожарного более подробно рассмотрены в статье «Обоснование совершенствования системы информирования участников тушения пожара о существующем риске при выполнении основной боевой задачи» авторы Мзюкова Е. А., Ищенко А. Д., Вотченко И. А. [2].

Цель исследования

Проведение анализа существующих нормативных документов, регламентирующих нормы и правила пожарной безопасности по отношению к объектам пожара с целью выявления возможных нарушений, способных повлиять на травмирование и гибель сотрудников и работников Федеральной противопожарной службы, т. е. стать причиной возникновения профессионального риска пожарного. Для проведения данного анализа, необходимо определить границы недопустимых нарушений пожарной безопасности объекта пожара. То

есть, необходимо выявить те нарушения, которые могут привести к возникновению профессионального риска для пожарных при возникновении пожара и стать причиной гибели или травмирования работников и сотрудников ФПС [5,6].

В соответствии со статьей 6 Федерального закона от 22 июня 2008 года №123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» все возможные способы реализации мер пожарной безопасности на объекте можно разделить на три категории:

1. выполнены требования пожарной безопасности, изложенные в:

- нормативной документации;
- специальных технических условиях;
- стандарте организации, согласованном в установленной форме;

2. на объекте соблюдаются допустимые значения пожарного риска;

3. исследования, расчеты и/или испытания, проведенные на объекте, подтверждают, что пожарная безопасность объекта защиты обеспечена.

Учитывая каждый из этих пунктов, т. е. вне зависимости от способов подтверждения соответствия требуемого уровня пожарной безопасности на объекте пожара, предлагается разработать классификацию опасностей объекта пожара (далее — классификацию опасностей), которая будет учитывать воздействие на участников боевых действий по тушению пожара опасных факторов пожара и их сопутствующие проявления.

Информация об объекте пожара, объемно-планировочных решениях, хранении веществ и материалов и т. п., имеющаяся как на самом объекте, так и в органах Государственного пожарного надзора (далее — ГПН), планах и карточках пожаротушения не всегда достаточна и достоверна в силу различных обстоятельств. Таким образом, возникает необходимость определить основной перечень пунктов нормативных документов, несоответствие которым может привести к гибели и травмированию участников боевых действий по тушению пожара [7].

Анализируя эти документы важно учитывать, что необходимо оценить профессиональные риски, связанные с возможными пожарами, для идентификации: потенциальных несчастных случаев; этиологии, вызвавшей эти события; порядка, в котором происходили эти события; вероятности их возникновения; факторов, способствующих снижению негативных последствий или уменьшению вероятности возникновения опасных ситуаций [3].

Материал и методы исследования

В данном исследовании в качестве критериев для разработки классификации взяты статистические данные Главного управления пожарной охраны МЧС России по травмированию и гибели участников тушения пожара при выполнении основной боевой задачи, а также данные практической деятельности инспекции ГПН, а именно наиболее распространенные нарушения на объектах, способные причинить угрозу жизни и здоровью, в случае возникновения пожара. Соответственно, таким образом, через информирование о существующем риске повреждения здоровья реализуется законное право работников и сотрудников ФПС на обеспечение безопасности [2, 8]. Эту

задачу выполняет представленная ниже классификация опасностей (табл.), на основании которой можно принять решение о необходимости введения участников боевых действий по тушению пожара в зону горения, и соответственно оценить степень социального пожарного риска согласно требованиям Федерального закона № 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» и обоснованного пожарного риска. Практическая значимость проведенного в данной работе анализа нормативных документов заключается в возможности использования классификации опасностей при совершенствовании системы информирования для упрощения получения данных о состоянии объекта пожара.

Таблица. Классификация опасностей объекта пожара, воздействующих на участников боевых действий по тушению пожара

| № п/п № n/a | Наименование пункта классификации Name of the classification point | Класс функциональной пожарной опасности Functional fire hazard class | Пункты нормативных документов Paragraphs of regulatory documents | |
|----------------|--|---|--|---|
| | | | Общие General | Частные Private |
| 1. | Несоответствие строительных конструкций требуемому пределу огнестойкости (несущие стены, колонны, арки, рамы и фермы, связи, диафрагмы жесткости, элементы креплений (ригели, плиты, балки)). Non-compliance of building structures with the required fire resistance limit (load-bearing walls, columns, arches, frames and trusses, connections, stiffening diaphragms, fastening elements (ledgers, plates, beams)). | Ф 1 (Ф1.1-Ф1.4) | ФЗ 123 Ст. 87 | СП 2.13130.2012 п. 6.5 (Ф1.4) |
| | | Ф 2 (Ф2.1-Ф2.4) | СП 2.13130.2012 п. 5.2 | СП 2.13130.2012 п. 6.7 (Ф2.3) |
| | | Ф 3 (Ф3.1-Ф3.6) | ГОСТ 30247.094, 1-94, | |
| | | Ф 4 (Ф4.1-Ф4.4) | ГОСТ Р 51136-2008, ГОСТ Р 53307-2009, ГОСТ Р 53308-2009, ГОСТ 30403-2012 | СП 2.13130.2012 п. 6.1 (Ф5.1, Ф5.3) СП 2.13130.2012 п. 6.2 (Ф5.2) СП 4.13130.2009 п.6 |
| | | Ф 5 (Ф5.1-Ф5.3) | СП 4.13130.2009 п. 5 | |
| 2. | Несоответствие узлов крепления и сочленения строительных конструкций требуемому пределу огнестойкости. | Ф 1 (Ф1.1-Ф1.4) | ФЗ 123 Ст. 88 | СП 2.13130.2012 п. 6.7 (Ф1.1, Ф1.4) |
| | | Ф 2 (Ф2.1-Ф2.4) | СП 2.13130.2012 5.2 | СП 2.13130.2012 п. 6.7 (Ф2.1, Ф2.2) |
| | | Ф 3 (Ф3.1-Ф3.6) | | |
| | | Ф 4 (Ф4.1-Ф4.4) | | |

| № п/п № n/a | Наименование пункта классификации Name of the classification point | Класс функциональной пожарной опасности Functional fire hazard class | Пункты нормативных документов Paragraphs of regulatory documents | |
|----------------|--|---|--|---|
| | | | Общие General | Частные Private |
| | Discrepancy in the nodes of fastening and articulation of building structures to the required. | Ф 5 (Ф5.1-Ф5.3) | | СП 2.13130.2012 п. 6.1 (Ф5.1, Ф5.3) СП 2.13130.2012 п. 6.2 (Ф5.2) СП 4.13130.2009 п.6 |
| 3. | Несоответствие противопожарной преграды требуемому пределу огнестойкости (противопожарные стены, перегородки и перекрытия, противопожарные занавесы, шторы и экраны). Non-compliance of the fire barrier with the required fire resistance rating (fire walls, partitions and ceilings, fire curtains, curtains and screens). | Ф 1 (Ф1.1-Ф1.4) | ФЗ 123 Ст. 88 СП 2.13130.2012 п. 5.3 | СП 2.13130.2012 п. 6.7 (Ф1.1) |
| | | Ф 2 (Ф2.1-Ф2.4) | | СП 2.13130.2012 п. 6.7 (Ф2.1, Ф2.2) |
| | | Ф 3 (Ф3.1-Ф3.6) | | СП 2.13130.2012 п. 6.7 (Ф3.5, Ф3.1) |
| | | Ф 4 (Ф4.1-Ф4.4) | | |
| | | Ф 5 (Ф5.1-Ф5.3) | | СП 2.13130.2012 п. 6.1 (Ф5.1, Ф5.3) СП 2.13130.2012 п. 6.2 (Ф5.2) СП 4.13130.2009 п.6 |
| 4. | Несоответствие требованиям пожарной безопасности путей эвакуации. Non-compliance with fire safety requirements of evacuation routes. | Ф 1 (Ф1.1-Ф1.4) | ФЗ 123 Ст. 89 СП 2.13130.2012 п. 5.2.7 СП 1.13130.2009 СП 4.13130.2009 п. 4 (кроме Ф 1.3) | СП 1.13130.2009 п.5 (Ф1.1-Ф1.4) |
| | | Ф 2 (Ф2.1-Ф2.4) | | СП 1.13130.2009 п.6 (Ф2.1-Ф2.3) |
| | | Ф 3 (Ф3.1-Ф3.6) | | СП 1.13130.2009 п.7 (Ф3.1-Ф3.5) |
| | | Ф 4 (Ф4.1-Ф4.4) | | СП 1.13130.2009 п.8 (Ф4.1-Ф4.3) |
| | | Ф 5 (Ф5.1-Ф5.3) | | СП 1.13130.2009 п.9 (Ф5.1-Ф5.4) |
| 5. | Несоответствие классу пожарной опасности. Non-compliance with fire hazard class. | Ф 1 (Ф1.1-Ф1.4) | СП 2.13130.2012 п. 5 ГОСТ 30403-2012 ГОСТ 31251-2008 | СП 2.13130.2012 п. 6.7 (Ф1.1, Ф1.2) СП 4.13130.2009 п. 5 (Ф1.3, Ф1.4) |
| | | Ф 2 (Ф2.1-Ф2.4) | | СП 2.13130.2012 п. 6.7 (Ф2.1) |
| | | Ф 3 (Ф3.1-Ф3.6) | | СП 2.13130.2012 п. 6.7 (Ф3.4) |
| | | Ф 4 (Ф4.1-Ф4.4) | | СП 2.13130.2012 п. 6.7 (Ф2.4-Ф4.3) |
| | | Ф 5 (Ф5.1-Ф5.3) | | |
| 6. | Несоответствие зданий, сооружений, пожарных отсеков требуемой степени огнестойкости. Non-compliance of buildings, structures, fire compartments with the required degree of fire resistance. | Ф 1 (Ф1.1-Ф1.4) | ФЗ 123 Ст. Глава 9 СП 2.13130.2012 п. 5.4 | СП 2.13130.2012 п. 6.5 (Ф1.1, Ф1.3, Ф1.4) СП 2.13130.2012 п. 6.7 (Ф1.1, Ф1.2) СП 2.13130.2009 п.6 (Ф 1.3, Ф1.4) |
| | | Ф 2 (Ф2.1-Ф2.4) | | СП 2.13130.2012 п. 6.7 (Ф2.1, Ф2.2) СП 2.13130.2009 п.6 (Ф 2.1, Ф2.3) |

| № п/п № n/a | Наименование пункта классификации Name of the classification point | Класс функциональной пожарной опасности Functional fire hazard class | Пункты нормативных документов Paragraphs of regulatory documents | |
|----------------|---|---|---|---|
| | | | Общие General | Частные Private |
| | | Ф 3 (Ф3.1-Ф3.6) | | СП 2.13130.2012 п. 6.7 (Ф3.1,Ф3.4,Ф3.5) СП 2.13130.2009 п.6 (Ф3.1, Ф 3.5) |
| | | Ф 4 (Ф4.1-Ф4.4) | | СП 2.13130.2012 п. 6.6 (Ф4.3) СП 2.13130.2012 п. 6.7 (Ф4.1-Ф4.3) СП 2.13130.2009 п.6 (Ф4.1,Ф4.2, Ф 4.3) |
| | | Ф 5 (Ф5.1-Ф5.3) | | СП 2.13130.2012 п. 6.1 (Ф5.1, Ф5.3) СП 2.13130.2012 п. 6.2 (Ф5.2) СП 2.13130.2009 п.6 (Ф 5.1) |
| 7. | Несоответствие зданий, сооружений, пожарных отсеков <i>классу конструктивной пожарной опасности</i> . Non-compliance of buildings, structures, and fire compartments with the class of structural fire hazard. | Ф 1 (Ф1.1-Ф1.4) | ФЗ 123 Ст. Глава 9 СП 2.13130.2012 п. 5.4 | СП 2.13130.2012 п. 6.7 (Ф1.1) |
| | | Ф 2 (Ф2.1-Ф2.4) | | СП 2.13130.2012 п. 6.7 (Ф2.1,Ф2.2) СП 2.13130.2009 п.6 (Ф 2.1, Ф2.3) |
| | | Ф 3 (Ф3.1-Ф3.6) | | СП 2.13130.2012 п. 6.7 (Ф3.5, Ф3.1) |
| | | Ф 4 (Ф4.1-Ф4.4) | | СП 2.13130.2012 п. 6.6 (Ф4.3) |
| | | Ф 5 (Ф5.1-Ф5.3) | | СП 2.13130.2012 п. 6.1 (Ф5.1, Ф5.3) СП 2.13130.2012 п. 6.2 (Ф5.2) |
| 8. | Несоответствие зданий, сооружений, пожарных отсеков <i>классу функциональной пожарной опасности</i> . Non-compliance of buildings, structures, and fire compartments with the functional fire hazard class. | Ф 1 (Ф1.1-Ф1.4) | ФЗ 123 Ст. Глава 9 СП 2.13130.2012 п. 6 СП 4.13130.2009 п. 4 | |
| | | Ф 2 (Ф2.1-Ф2.4) | | |
| | | Ф 3 (Ф3.1-Ф3.6) | | |
| | | Ф 4 (Ф4.1-Ф4.4) | | |
| | | Ф 5 (Ф5.1-Ф5.3) | | |
| 9. | Несоответствие норм по <i>противопожарным расстояниям</i> . Non-compliance with the standards for fire distances. | Ф 1 (Ф1.1-Ф1.4) | ФЗ 123 Ст. Глава 16 СП 4.13130.2009 п. 4 | СП 4.13130.2009 п. 5 (Ф1.1-Ф1.4) |
| | | Ф 2 (Ф2.1-Ф2.4) | | |
| | | Ф 3 (Ф3.1-Ф3.6) | | |
| | | Ф 4 (Ф4.1-Ф4.4) | | |
| | | Ф 5 (Ф5.1-Ф5.3) | | СП 4.13130.2009 п.6 |
| 10. | Несоответствие по использованию <i>строительных материалов</i> . Discrepancies in the use of construction materials. | Ф 1 (Ф1.1-Ф1.4) | ФЗ 123 Ст. 134 СП 4.13130.2009 | |
| | | Ф 2 (Ф2.1-Ф2.4) | | |
| | | Ф 3 (Ф3.1-Ф3.6) | | |
| | | Ф 4 (Ф4.1-Ф4.4) | | |
| | | Ф 5 (Ф5.1-Ф5.3) | | СП 4.13130.2009 п.6 |
| 11. | Несоответствие по <i>взрывопожарной и пожарной опасности</i> Non-compliance with | Ф 1 (Ф1.1-Ф1.4) | ФЗ 123 Ст. Глава 8 СП 4.13130.2009 п. 4 | |
| | | Ф 2 (Ф2.1-Ф2.4) | | |
| | | Ф 3 (Ф3.1-Ф3.6) | | |
| | | Ф 4 (Ф4.1-Ф4.4) | | |

| № п/п № n/a | Наименование пункта классификации Name of the classification point | Класс функциональной пожарной опасности Functional fire hazard class | Пункты нормативных документов Paragraphs of regulatory documents | |
|----------------|---|---|---|---|
| | | | Общие General | Частные Private |
| | fire and explosion hazards | Ф 5 (Ф5.1-Ф5.3) | | СП 2.13130.2012 п. 6.1 (Ф5.1, Ф5.3) СП 2.13130.2012 п. 6.2 (Ф5.2) СП 12.13130.2009 ГОСТ 12.1.044-89 СП 4.13130.2009 п.6.2 |
| 12. | При наличии в здании системы автоматического пожаротушения и системы пожарной сигнализации их исправность / сведения о неисправности. If the building has an automatic fire extinguishing system and a fire alarm system, their operability / information about malfunction. | Ф 1 (Ф1.1-Ф1.4) | ФЗ 123 Ст. 83, 91 СП 484.1311500.2020 СП 485.1311500.2020 СП 486.1311500.2020 | |
| | | Ф 2 (Ф2.1-Ф2.4) | | |
| | | Ф 3 (Ф3.1-Ф3.6) | | СП 2.13130.2012 п. 6.7 (Ф3.5, Ф3.1) |
| | | Ф 4 (Ф4.1-Ф4.4) | | |
| | | Ф 5 (Ф5.1-Ф5.3) | | СП 2.13130.2012 п. 6.1 (Ф5.1, Ф5.3) СП 2.13130.2012 п. 6.2 (Ф5.2) |
| 13. | При наличии в здании системы оповещения людей о пожаре и управления эвакуацией людей их исправность/сведения о неисправности. If there is a fire alarm and evacuation control system in the building, their operability / information about the malfunction. | Ф 1 (Ф1.1-Ф1.4) | ФЗ 123 Ст. 84 СП 3.13130.2009 | |
| | | Ф 2 (Ф2.1-Ф2.4) | | |
| | | Ф 3 (Ф3.1-Ф3.6) | | |
| | | Ф 4 (Ф4.1-Ф4.4) | | |
| | | Ф 5 (Ф5.1-Ф5.3) | | |
| 14. | При наличии в здании системы противодымной защиты ее исправность/сведения о неисправности. If there is a smoke protection system in the building, its operability / information about the malfunction. | Ф 1 (Ф1.1-Ф1.4) | ФЗ 123 Ст. 85 СП 7.13130.2009 п.7 | |
| | | Ф 2 (Ф2.1-Ф2.4) | | |
| | | Ф 3 (Ф3.1-Ф3.6) | | |
| | | Ф 4 (Ф4.1-Ф4.4) | | |
| | | Ф 5 (Ф5.1-Ф5.3) | | |
| 15. | Несоответствие требований пожарной безопасности к источникам противопожарного водоснабжения объекта. Non-compliance with fire safety requirements for fire water supply sources of the facility. | Ф 1 (Ф1.1-Ф1.4) | ФЗ 123 Ст. 86 СП 8.13130.2009 СП10.13130.2009 | |
| | | Ф 2 (Ф2.1-Ф2.4) | | |
| | | Ф 3 (Ф3.1-Ф3.6) | | |
| | | Ф 4 (Ф4.1-Ф4.4) | | |
| | | Ф 5 (Ф5.1-Ф5.3) | | |

| № п/п № n/a | Наименование пункта классификации Name of the classification point | Класс функциональной пожарной опасности Functional fire hazard class | Пункты нормативных документов Paragraphs of regulatory documents | |
|----------------|---|---|---|--------------------|
| | | | Общие General | Частные Private |
| 16. | Несоответствие требований пожарной безопасности электроустановок (в том числе для лифтов для транспортировки подразделений пожарной охраны). Non-compliance with fire safety requirements for electrical installations (including for elevators to transport fire-fighting units). | Ф 1 (Ф1.1-Ф1.4) | ФЗ 123 Ст. 82 СП 6.13130.2021 п. 5., п.6 | |
| | | Ф 2 (Ф2.1-Ф2.4) | | |
| | | Ф 3 (Ф3.1-Ф3.6) | | |
| | | Ф 4 (Ф4.1-Ф4.4) | | |
| | | Ф 5 (Ф5.1-Ф5.3) | | |

СП 2.13130.2012 «Системы противопожарной защиты. Обеспечение огнестойкости объектов защиты»

ГОСТ 30247.0-94 «Конструкции строительные. Методы испытаний на огнестойкость. Общие требования»

ГОСТ Р 51136-2008 «Стекла защитные многослойные. Общие технические условия»

ГОСТ Р 53307-2009 «Конструкции строительные. Противопожарные двери и ворота. Метод испытаний на огнестойкость»

ГОСТ Р 53308-2009 «Конструкции строительные. Светопрозрачные ограждающие конструкции и заполнение проемов. Метод испытаний на огнестойкость»

ГОСТ 30403-2012 «Конструкции строительные. Метод испытаний на пожарную опасность»

СП 4.13130.2009 «Системы противопожарной защиты. Ограничение распространения пожара на объектах защиты. Требования к объемно-планировочным и конструктивным решениям»

СП 1.13130.2009 «Системы противопожарной защиты. Эвакуационные пути и выходы»

ГОСТ 30403-2012 «Конструкции строительные. Метод испытаний на пожарную опасность»

ГОСТ 31251-2008 «Стены наружные с внешней стороны. Метод испытаний на пожарную опасность»

СП 2.13130.2009 «Системы противопожарной защиты. Эвакуационные пути и выходы»

ГОСТ 12.1.044-89 «Система стандартов безопасности труда. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов. Номенклатура показателей и методы их определения»

СП 484.1311500.2020 «Системы противопожарной защиты. Системы пожарной сигнализации и автоматизация систем противопожарной защиты. Нормы и правила проектирования»

СП 485.1311500.2020 «Системы противопожарной защиты. Установки пожаротушения автоматические. Нормы и правила проектирования»

СП 486.1311500.2020 «Системы противопожарной защиты. Перечень зданий, сооружений, помещений и оборудования, подлежащих защите автоматическими установками пожаротушения и системами пожарной сигнализации. Требования пожарной безопасности»

СП 3.13130.2009 «Системы противопожарной защиты. Система оповещения и управления эвакуацией людей при пожаре. Требования пожарной безопасности»

СП 7.13130.2009 «Отопление, вентиляция и кондиционирование. Противопожарные требования»

СП 8.13130.2009 «Системы противопожарной защиты. Источники наружного противопожарного водоснабжения. Требования пожарной безопасности»

СП 10.13130.2009 «Системы противопожарной защиты. Внутренний противопожарный водопровод. Требования пожарной безопасности»

СП 6.13130.2021 «Системы противопожарной защиты. Электроустановки низковольтные. Требования пожарной безопасности»

Результаты исследования и их обсуждение

В Постановлении Правительства РФ от 16 сентября 2020 г. № 1479 «Об утверждении Правил противопожарного режима в Российской Федерации»

ской Федерации» отмечено, что система обеспечения пожарной безопасности создается на объекте с целью предотвращения возникновения пожара, обеспечения безопасности людей и защиты имущества в случае пожара. Соответственно, в качестве основного назначения системы можно определить предотвращение возможных опасностей и вреда, который может быть причинен третьим лицам в случае пожара, включая участников боевых действий при тушении пожара. Для достижения этой цели применяется комплекс мероприятий, включающий разработку: превентивных мер, таких как система предотвращения пожара; комплекса организационно-технических мероприятий для обеспечения пожарной безопасности, а также системы противопожарной защиты.

Вышеперечисленные пункты равнозначны, качество их реализации может оказать влияние на развитие пожара, организацию тушения и исход тушения в целом. Система информирования при этом составляет неотъемлемую часть системы обеспечения пожарной безопасности на защищаемом объекте. Ее основная функция в рамках системы — представление информации для принятия оперативных решений, которые могут повлиять на

уровень безопасности сотрудников и работников ФПС при реализации основной боевой задачи.

Выводы

На следующем этапе совершенствования системы информирования возникает потребность определить форму представления необходимых данных, более точную, но в то же время менее емкую по структуре. В пункте XVIII указанного выше Постановления Правительства приведены требования к инструкции о мерах пожарной безопасности. Основная проблема на этом этапе заключается в том, что зачастую, собственники объекта, не являясь экспертами в области пожарной безопасности, не могут подготовить информацию об объекте в той форме, которая необходима для органов ГПН, а также отвечающей требованиям данного исследования. Для того чтобы процесс с обеих сторон был более удобным необходимо внести предложения по разработке единой формы представления данных. При этом необходимо понимать, что данная форма будет являться и методической помощью в разработке самих рекомендаций (инструкций) в том числе.

Список литературы

1. Мзокова Е. А., Ищенко А. Д. Разработка системы информирования участников тушения пожара об угрозе объекта пожара // Пожаротушение: проблемы, технологии, инновации: материалы научно-практической конференции. М.: Академия ГПС МЧС России, 2015. С. 113–114.

2. Мзокова Е. А., Ищенко А. Д., Вотченко И. А. Обоснование совершенствования системы информирования участников тушения пожара о существующем риске при выполнении основной боевой задачи // Технологии техногенной безопасности. Вып. 4 (86). 2019. С. 96–103. DOI: 10.25257/TTS.2019.4.86.96-103. <https://www.elibrary.ru/AHOAYZ>

3. Роль системы оценки профессиональных рисков в системе управления охраной труда в организации / М. А. Садовников, Г. Г. Попов, Д. В. Семин [и др.] // Вестник аграрной науки Дона. 2019. № 4 (48). С. 102–107. <https://www.elibrary.ru/LWWBJB>

4. Оценка профессионального риска и тяжести нарушений здоровья в подразделениях Федеральной противопожарной службы МЧС России / В. В. Харин, Е. В. Бобринев, Е. Ю. Удавцова [и др.] // Медико-биологические и социально-психологические проблемы безопасности в чрезвычайных ситуациях. 2021.

№ 2. С. 62–69. DOI: 10.25016/2541-7487-2021-0-2-62-69. <https://www.elibrary.ru/OFCNAE>

5. Производственный травматизм у категорий личного состава Федеральной противопожарной службы МЧС России (2006–2020 гг.) / В. И. Евдокимов, Е. В. Бобринев, А. А. Кондашов [и др.] // Медико-биологические и социально-психологические проблемы безопасности в чрезвычайных ситуациях. 2022. № 1. С. 41–51. DOI: 10.25016/2541-7487-2022-0-1-41-51. <https://www.elibrary.ru/UVFVEN>

6. Риски повреждения здоровья в подразделениях ФПС МЧС России / О. Г. Меретукова, Т. А. Шавырина, Е. Ю. Удавцова [и др.] // Безопасность техногенных и природных систем. 2021. № 2. С. 19–24. <https://www.elibrary.ru/XSOYIP>

7. Оценка уровня пожарной опасности эксплуатируемых зданий (сооружений) с учетом класса функциональной пожарной опасности за 2017–2020 годы / В. В. Харин, Е. В. Бобринев, А. А. Кондашов [и др.] // Безопасность техногенных и природных систем. 2022. № 2. С. 43–48. <https://www.elibrary.ru/ZYNENY>

8. Андросенко С. Г. Правовое регулирование некоторых задач управления при организации пожаротушения // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. 2017. № 1. С. 56–60. DOI: 10.25257/FE.2017.1.56-60. EDN: ZFKDUV

References

1. Mzokova E. A., Ischenko A. D. Razrabotka sistemy informirovaniya uchastnikov tusheniya pozhara ob ugroze obekta pozhara [Development of a system for informing firefighters about the threat of a fire object]. *Pozharotushenie: problemy, tekhnologii, innovacii: materialy nauchno-prakticheskoy konferencii*. Moskva: Akademiya GPS MChS Rossii, 2015, pp. 113–114
2. Mzokova E. A., Ischenko A. D., Votchenko I. A. Obosnovanie sovershenstvovaniya sistemy informirovaniya uchastnikov tusheniya pozhara o sushchestvuyushchem riske pri vypolnenii osnovnoj boevoj zadachi [Rationale for improving the system of informing participants of fire extinguishing about the existing risk when performing the main combat task]. *Tekhnologii tekhnosfernoj bezopasnosti*, 2019, vol. 4 (86), pp. 96–103. DOI: 10.25257/TTS.2019.4.86.96-103.
3. Rol sistemy ocenki professional'nyh riskov v sisteme upravleniya ohranoj truda v organizacii [The role of occupational risk assessment system in the labor protection management system in the organization] / M. A. Sadovnikov, G. G. Popov, D. V. Semin [et al.]. *Vestnik agrarnoy nauki Dona*, 2019, vol. 4 (48), pp. 102–107.
4. Ocenka professional'nogo riska i tyazhesti narushenij zdorov'ya v podrazdeleniyah Federalnoj protivopozharnoj sluzhby MChS Rossii [Assessment of professional risk and severity of health disorders in the units of the Federal Fire Service of EMERCOM of Russia] / V. V. Kharin, E. V. Bobrinev, E. Yu. Udavtsova [et al.]. *Mediko-biologicheskie i social'no-psihologicheskie problemy bezopasnosti v chrezvychajnyh situacijah*, 2021, issue 2, pp. 62–69. DOI: 10.25016/2541-7487-2021-0-2-62-69.
5. Proizvodstvennyj travmatizm u kategorij lichnogo sostava Federalnoj protivopozharnoj sluzhby MChS Rossii (2006–2020 gg.) [Occupational traumatism in categories of personnel of Federal Fire Service of Ministry of Emergency Situations of Russia (2006–2020)] / V. I. Evdokimov, E. V. Bobrinev, A. A. Kondashov [et al.]. *Mediko-biologicheskie i socialno-psihologicheskie problemy bezopasnosti v chrezvychajnyh situacijah*, 2022, issue 1, pp. 41–51. DOI: 10.25016/2541-7487-2022-0-1-41-51.
6. Riski povrezhdeniya zdorov'ya v podrazdeleniyah FPS MChS Rossii [Risks of health damage in units of FPS MES Russia] / O. G. Meretukova, T. A. Shavyrina, E. Y. Udavtsova [et al.]. *Bezopasnost tekhnogennyh i prirodnyh system*, 2021, issue 2, pp. 19–24.
7. Ocenka urovnya pozharnoj opasnosti ekspluatiruemyh zdaniy (sooruzhenij) s uchetom klassa funkcional'noj pozharnoj opasnosti za 2017-2020 gody [Assessment of the level of fire danger of operating buildings (structures) with regard to the class of functional fire hazard for 2017-2020 years] / V. V. Kharin, E. V. Bobrinev, A. A. Kondashov [et al.]. *Bezopasnost tekhnogennyh i prirodnyh system*, 2022, issue 2, pp. 43–48.
8. Androsenko S. G. Pravovoe regulirovanie nekotoryh zadach upravleniya pri organizacii pozharotusheniya [Legal regulation of some management tasks in the organization of firefighting] *Pozhary i chrezvychajnye situacii: predotvrashchenie, likvidaciya*, 2017, issue 1, pp. 56–60. DOI: 10.25257/FE.2017.1.56-60. EDN: ZFKDUV

Мзокова Екатерина Александровна

Академия Государственной противопожарной службы МЧС России

Российская Федерация, Москва

преподаватель

E-mail: soprunovakate@mail.ru

Mzokova Ekaterina Alexandrovna

Academy of State Fire Service of EMERCOM of Russia

Russian Federation, Moscow

lecturer

E-mail: soprunovakate@mail.ru

Ищенко Андрей Дмитриевич

Академия Государственной противопожарной службы МЧС России

Российская Федерация, Москва

доктор технических наук; профессор

E-mail: A.Ishchenko@academygps.ru

Ishchenko Andrew Dmitrievich

Academy of State Fire Service of EMERCOM of Russia

Russian Federation, Moscow

doctor of Technical Sciences, professor

E-mail: A.Ishchenko@academygps.ru

УДК 614.843.2

ЗАРУБЕЖНЫЙ ОПЫТ ЭКСПЛУАТАЦИИ ПОЖАРНЫХ РУКАВОВ

Н. Ю. НОВИЧКОВА, И. В. САРАЕВ, К. А. НОВОЖИЛОВА, А. Л. НИКИФОРОВ

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

E-mail: n.nature@mail.ru, saraev-i-v@mail.ru, novozhilovax@yandex.ru, anikiforoff@list.ru

В статье представлен краткий обзор зарубежного опыта эксплуатации пожарных рукавов. Проанализирован опыт применения, хранения и технического обслуживания пожарных рукавов США, Китая и Индии. Представлены основные положения нормативной базы, касающейся эксплуатации пожарных рукавов. Определено, что порядок и способы ремонта пожарных рукавов в указанных странах не регламентированы. В большинстве случаев приводится лишь стандартное требование: «ремонт необходимо осуществлять в соответствии с требованиями завода-изготовителя», которая не даёт ответа, как и каким образом проводить ремонт рукава. Данное обстоятельство подтверждает актуальность разработки новых способов ремонта пожарных рукавов, в общем, и напорных рукавов, в частности.

Ключевые слова: пожарный рукав, ремонт, техническое обслуживание, зарубежный опыт

FOREIGN EXPERIENCE IN FIRE HOSES OPERATION

N. Yu. NOVICHKOVA, I. V. SARAEV, K. A. NOVOZHILOVA, 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: n.nature@mail.ru, saraev-i-v@mail.ru, novozhilovax@yandex.ru, anikiforoff@list.ru

The article presents a brief overview of foreign experience in the operation of fire hoses. The experience of application, storage and maintenance of fire hoses in the USA, China and India is analyzed. The main provisions of the regulatory framework concerning the operation of fire hoses are presented. It is determined that the procedure and methods of repairing fire hoses in these countries are not regulated. In most cases, only the standard requirement is given: "repairs must be carried out in accordance with the requirements of the manufacturer," which does not answer how to repair the hoses. This circumstance confirms the relevance of developing new ways to repair fire hoses, in general, and pressure hoses, in particular.

Key words: fire hose, repair, maintenance, foreign experience.

Пожарные рукава являются одним из наиболее часто применяемых элементов пожарного оборудования [1–5]. В результате эксплуатации рукавов происходит их интенсивный износ, сопряженный зачастую с механическими и термическими повреждениями. Стоит отметить, что эксплуатация рукавов — это не только применение их по назначению (транспортирование огнетушащих веществ к месту пожара), но и испытания, мойка/сушка, ремонт, хранение (скатка/перекатка). Рукава могут повреждаться на любом этапе их эксплуатации, что негативно влияет на уровень технической готовности подразделений пожарной охраны. В связи с этим, продление сроков службы дан-

ных изделий является важной и актуальной задачей. Решение проблемы видится в создании новых износостойких материалов для изготовления пожарных рукавов, совершенствование конструкции рукава, направленное на снижение воздействия внешних разрушающих нагрузок на изделие, а также разработке новых (эффективных) способов ремонта. В данном случае полезным будет изучение зарубежного опыта эксплуатации пожарных рукавов.

С точки зрения отечественной нормативной базы, все основополагающие моменты, связанные с эксплуатацией пожарных рукавов, подробно рассмотрены и изложены в приложении 43 Руководства¹ (рис. 1).

Анализируя зарубежный опыт в данной области, в первую очередь, следует отметить наличие такого документа, как «Стандарт по обслуживанию, применению, проверке, испытаниям и замене пожарных рукавов, соединительных головок, стволов и приспособлений

для пожарных рукавов»² (Стандарт NFPA), разработанный в США национальной ассоциацией противопожарной защиты NFPA (National Fire Protection Association). Он определяет требования к проектированию, устройству, испытаниям пожарных рукавов и их комплектующих. Эти требования распространяются на напорные, напорно-всасывающие и всасывающие рукава (рис. 2).

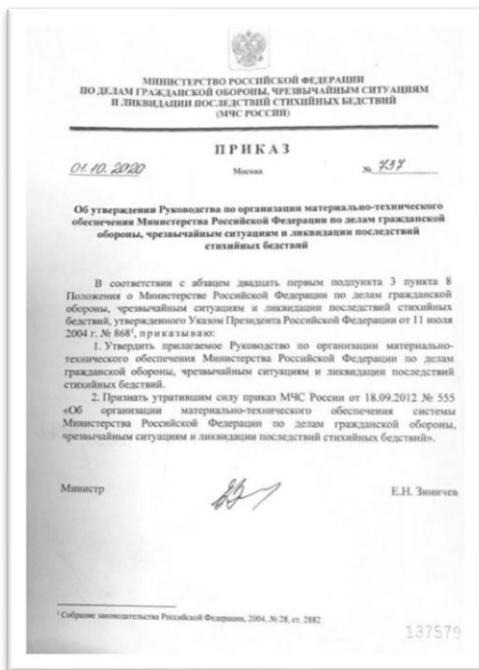


Рис. 1. Приказ МЧС России от 01.10.2020 № 737 «Об утверждении Руководства по организации материально-технического обеспечения Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий»

Целью Стандарта NFPA является обеспечение требований по обслуживанию, применению, проверке, испытаниям и замене пожарных рукавов, соединительных головок, стволов и приспособлений для пожарных рукавов, для повышения уровня их надёжности при

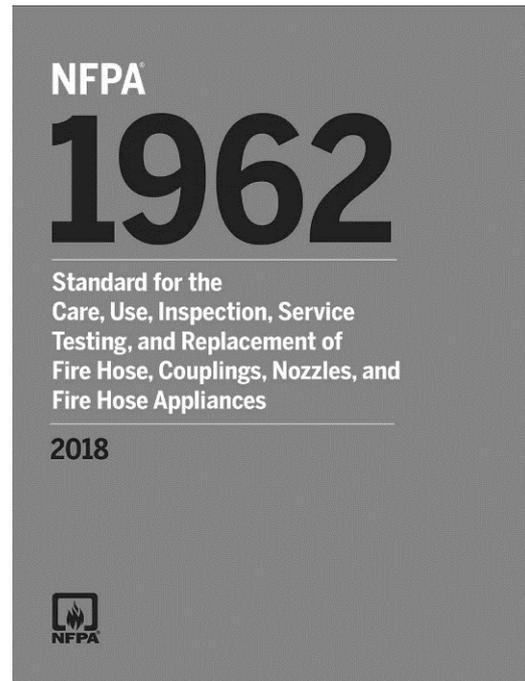


Рис. 2. NFPA 1962 Standard for the care, use, inspection, service testing, and replacement of fire hose, couplings, nozzles, and fire hose appliances

использовании на пожаре или чрезвычайной ситуации.

Рассмотрим основные положения Стандарта NFPA подробнее. Прежде всего, необходимо обратить внимание на то, что все пожарные рукава должны быть испытаны перед постановкой в боевой расчёт, а находящиеся в эксплуатации — не реже 1 раза в год.

¹ Приказ МЧС России от 01.10.2020 № 737 «Об утверждении Руководства по организации материально-технического обеспечения Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий».

² NFPA 1962 Standard for the care, use, inspection, service testing, and replacement of fire hose, couplings, nozzles, and fire hose appliances. National Fire Protection Association.

При этом есть несколько общих требований к условиям эксплуатации рукавов:

- при постановке в расчёт, рукав должен быть чистым и сухим;

- рукава, перевозимые в отсеках автомобиля, должны быть загружены таким образом, чтобы под ними мог циркулировать воздух для устранения или уменьшения образования плесени и ржавчины (коррозии) в отсеке;

- рукава, применяемые на пожаре, должны скатываться на новое ребро так, чтобы складки происходили в разных положениях с достаточной частотой. Это позволит предотвратить повреждение и образование постоянных складок во внутреннем прорезиненном слое рукава;

- рукав во время применения должен располагаться таким образом, чтобы свести к минимуму механические повреждения и тепловое воздействие;

- проезд транспортных средств по рукаву запрещён;

- пожарные стволы, подключённые к рукавной линии, должны открываться и закрываться медленно, чтобы предотвратить скачки давления и гидравлический удар, которые могут повредить рукав и, в свою очередь, привести к травмам личного состава или повреждению пожарного насоса;

- следует соблюдать осторожность при перемещении рукавной линии, чтобы не тянуть пожарный рукав по грубой поверхности, но, если рукав необходимо переместить, он должен тянуться плоским, т.е. без воды;

- при эксплуатации рукавов в условиях отрицательной температуры не следует полностью перекрывать пожарный ствол для предотвращения промерзания рукава. При этом рукав, подвергшийся промерзанию, необходимо разморозить и провести соответствующие испытания;

- хранить рукава необходимо вдали от прямых солнечных лучей в соответствии с рекомендациями производителя;

- после каждого применения рукав должен быть опорожнён, очищен, высушен и осмотрен;

- все рукава должны подвергаться визуальному осмотру не реже одного раза в квартал.

Помимо общих требований к эксплуатации пожарных рукавов можно выделить рекомендации по испытаниям, указанные в Стандарте NFPA:

- напорный рукав должен быть испытан при давлении не менее 300 фунтов на квадратный дюйм (20,7 бар или 2070 кПа) или давлении, не превышающем рабочее испытательное давление, указанное на рукаве;

- напорно-всасывающий рукав должен быть испытан при давлении не менее 200 фунтов на квадратный дюйм (13,8 бар или 1380 кПа) или давлении, не превышающем рабочее испытательное давление, указанное на рукаве;

- рукавная линия при испытаниях должна быть прямой, без перегибов или перекручиваний;

- рукава, не прошедшие испытания, должны быть помечены и сняты с эксплуатации;

- если рукав протекает или его оболочка не проходит испытания, на него наносится отличительный знак, указывающий местоположение дефекта(ов);

- если соединительная арматура выходит из строя или имеет дефекты, она должна быть отремонтирована или заменена;

- если рукав не подлежит ремонту, соединительная арматура должна быть снята с обоих концов;

- все рукава, прошедшие процедуру ремонта, должны подвергаться испытаниям;

- после испытаний все рукава должны быть тщательно очищены, опорожнены и высушены перед вводом в эксплуатацию или постановке на хранение;

- результаты испытаний заносятся в журнал учёта рукавов, а на рукав наносится дополнительная маркировка, которая должна содержать дату проведения испытаний и максимальное рабочее давление.

Здесь стоит отметить достаточно интересную сноску, что рукава могут подвергаться испытаниям, как в полевых, так и в стационарных условиях. При этом в полевых условиях рукав не должен подвергаться испытательному давлению. Наряду с этим необходимо отметить, что испытательное давление для рукавной линии определяется расчётным путём в зависимости от длины каждого рукава. Испытаниям подвергаются рукава одинаковой длины, а общая длина рукавной линии не должна превышать 300 футов (91 м).

Далее рассмотрим опыт китайских коллег по эксплуатации пожарных рукавов³ (рис. 3).

В документе особое внимание уделяется обозначению чётких рекомендаций по их применению, а также техническому обслуживанию, из которых можно выделить следующие положения:

³ GB 6246-2011 Fire hose. National Standard the People's Republic of China (Ministry of Public Security of the People Republic of China)

- пожарные рукава нельзя надолго оставлять на открытом солнце или под дождём;
- место хранения рукава должно иметь соответствующую температуру и хорошую вентиляцию, а сам рукав должен быть свернут в одинарную или двойную скатку и размещён вертикально на стойке;
- несколько раз в год необходимо перекатывать рукава на новое ребро;
- при проведении боевого развёртывания необходимо избегать внезапного скручивания рукавов;
- после заполнения рукавной линии водой не волочите её по земле, чтобы избежать контакта с агрессивными химикатами, такими как масло, кислота и щелочь;
- в местах, где может быть пламя или сильный нагрев, следует использовать хлопковую или конопляную воду;
- при прокладывании рукавной линии через железнодорожные пути она должна прокладываться под рельсами;
- при прокладывании рукавной линии по дорогам на рукава необходимо устанавливать рукавные мостики;
- во избежание повреждения рукава не допускается соприкосновение рукавной линии с твёрдыми предметами с угловатыми краями;
- запрещается бросание твёрдых предметов на рукавную линию;
- все рукава после применения необходимо очищать и промывать;
- в случае обнаружения прокола (прореза) рукава его необходимо заменить на исправный и пометить для своевременного ремонта.

В отличие от отечественных требований к эксплуатации пожарных рукавов, а также требований Стандарта NFPA, можно выделить интересный факт, что рукава «нельзя надолго оставлять на открытом солнце или под дождём». При этом, в стандартах, указанных выше, такой способ сушки (хранения) категорически запрещён. В остальном же требования по эксплуатации рукавов схожи с выше рассмотренными.

Далее обратимся к опыту эксплуатации пожарных рукавов в Индии⁴ с учётом стандарта⁵ (рис. 4).

⁴ Fire Hose Care and Maintenance [Электронный ресурс] URL: <https://www.isrmag.com/fire-hose-care-and-maintenance/> (дата обращения: 25.07.2024).

⁵ IS 14933: High Pressure Fire Fighting Hose — Specification

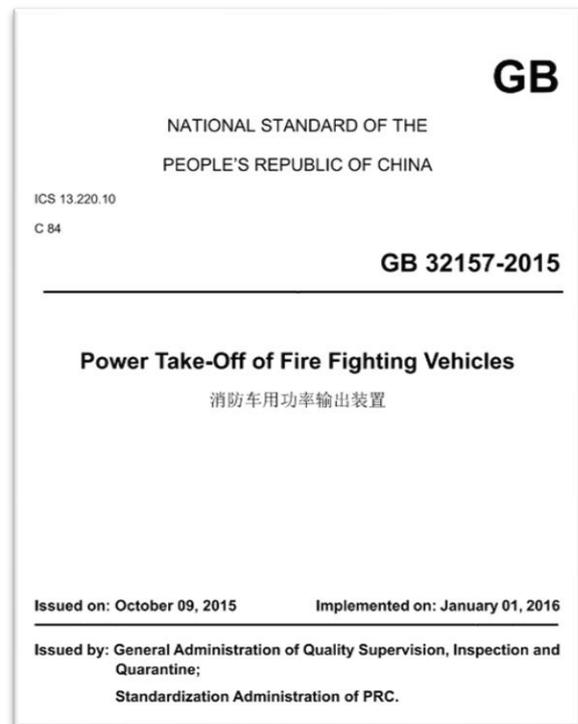


Рис. 3. GB 6246-2011 Fire hose. National Standard the People's Republic of China



Рис. 4. IS 14933: High Pressure Fire Fighting Hose – Specification

Требования к пожарным рукавам выглядят следующим образом:

- при эксплуатации рукавов на пожаре не следует его перетягивать (волочить) по земле и особенно по абразивным поверхностям, а также их острыми кромкам, которые могут повредить рукав;

- при перемещении рукавной линии необходимо воспользоваться специальным роликом для рукава, дабы избежать его абразивного износа, а в случае отсутствия такого устройства постараться перетаскивать рукав таким образом, чтобы абразивный износ распределялся по большей площади поверхности рукава;

- рекомендуется не превышать порог номинального рабочего давления, на которое рассчитан рукав;

- при сборе рукавной линии необходимо тщательно отчистить рукава от грязи с помощью щётки, избегая применения мойки высокого давления, т.к. она может повредить поверхность рукава;

- запрещается сушить рукава под прямыми солнечными лучами или на горячих поверхностях;

- рукава необходимо хранить в чистом и хорошо проветриваемом помещении, вдали от прямых солнечных лучей;

- запрещается хранить рукава в пластиковых пакетах и плёнках;

- необходимо, не реже одного раза в три месяца, совершать перекачку рукавов на новое ребро;

- после каждого применения необходимо проводить внешний осмотр рукава;

- в случае выявления дефектов рукава его необходимо снять с эксплуатации и направить в ремонт, а если рукав не подлежит ремонту, он должен быть утилизирован.

Таким образом, из представленного обзора следует, что зарубежный опыт эксплуатации пожарных рукавов близок к отечественному в области бережного отношения к пожарному оборудованию как в применении по предназначению, так и хранении. При этом стоит отметить, что порядок и способы ремонта пожарных рукавов не регламентированы. В большинстве случаев указывается лишь стандартное требование: «ремонт необходимо осуществлять в соответствии с требованиями завода-изготовителя», которая не даёт ответа, как и каким образом проводить ремонт рукава. Данное обстоятельство подтверждает актуальность разработки новых способов ремонта пожарных рукавов в общем и напорных рукавов, в частности.

Опираясь на проведенный анализ отечественного и зарубежного опыта, можно сделать вывод о том, что продление сроков эксплуатации пожарных рукавов является важной и актуальной задачей. Одним из возможных решений проблемы является реализация процесса ремонта и восстановления данных изделий. Однако здесь имеется проблема – спектр материалов, из которых изготавливаются современные рукава широк и разнообразен, а рекомендуемые методы ремонта (например, вулканизация) остаются неизменными на протяжении многих лет и не учитывают современных реалий. В связи с этим назрела острая необходимость поиска новых решений и подходов к методам ремонта и восстановления пожарных рукавов [6, 7]. Следует также различать текущий (мелкий) и капитальный ремонт рукавов, что позволит добиться экономии материальных средств и ресурсов на поддержание необходимого количества исправных рукавов в подразделениях пожарной охраны.

Список литературы

1. Обслуживание и ремонт пожарных рукавов / И. В. Сараев, А. Л. Никифоров, С. Н. Ульева [и др.] // Современные пожаро-безопасные материалы и технологии: сборник материалов VI Международной научно-практической конференции. Иваново: Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, 2023. С. 376–382.

2. Сараев И. В. К вопросу восстановления боевой готовности подразделений пожарной охраны при возвращении с пожара // Пожарная и аварийная безопасность: сборник материалов XVIII Международной научно-практической конференции. Иваново: Иванов-

ская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, 2023. С. 656–660.

3. Сараев И. В., Семенов А. Д. Альтернативный способ ремонта напорных пожарных рукавов // Современные проблемы гражданской защиты. 2023. № 3 (48). С. 116–123.

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.

5. Обслуживание пожарных напорных рукавов диаметром более 150 мм в полевых условиях / А. Д. Семенов, А. Г. Бубнов, И. В. Сараев [и др.] // Современные проблемы

гражданской защиты. 2022. № 4 (45). С. 107–115.

6. Использование полимерных дисперсий для ремонта напорных пожарных рукавов / А. Л. Никифоров, И. А. Легкова, С. Н. Ульева [и др.] // Современные наукоёмкие технологии. 2024. № 2 (47). С. 93–98.

7. Никифоров А. Л., Ульева С. Н., Легкова И. А. Новые подходы к выполнению капитального ремонта пожарных рукавов // Современные проблемы гражданской защиты. 2023. № 2 (47). С. 99–106.

References

1. Obsluzhivaniye i remont pozharnykh rukavov [Maintenance and repair of fire hoses] / I. V. Saraev, A. L. Nikiforov, S. N. Ul'yeva [et al.]. *Sovremennyye pozharobezopasnyye materialy i tekhnologii: sbornik materialov VI Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii*. Ivanovo: Ivanovskaya pozharno-spasatel'naya akademiya GPS MCHS Rossii, 2023, pp. 376–382.

2. Saraev I. V. K voprosu vosstanovleniya boyevoy gotovnosti podrazdeleniy pozharnoy okhrany pri vozvrashchenii s pozhara [On the issue of restoring the combat readiness of fire departments upon returning from a fire]. *Pozharnaya i avariynaya bezopasnost': sbornik materialov XVIII Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii*. Ivanovo: Ivanovskaya pozharno-spasatel'naya akademiya GPS MCHS Rossii, 2023, pp. 656–660.

3. Saraev I. V., Semenov A. D. Al'ternativnyy sposob remonta napornykh pozharnykh rukavov [An alternative method for repairing pressure fire hoses]. *Sovremennyye problemy grazhdanskoй zashchity*, 2023, vol. 3 (48), pp. 116–123.

4. Saraev I. V., Semenov A. D., Bochkarev A. N. Vosstanovleniye boyegotovnosti mobil'nykh sredstv pozharotusheniya v usloviyakh nizkikh temperatur [Restoring the combat readiness of mobile fire extinguishing equipment in low temperature conditions]. *Sovremennyye problemy grazhdanskoй zashchity*, 2023, vol. 3 (48), pp. 124–133.

5. Obsluzhivaniye pozharnykh napornykh rukavov diametrom boleye 150 mm v polevykh usloviyakh [Maintenance of fire pressure hoses with a diameter of more than 150 mm in field conditions] / A. D. Semenov, A. G. Bubnov, I. V. Saraev [et al.]. *Sovremennyye problemy grazhdanskoй zashchity*, 2022, vol. 4 (45), pp. 107–115.

6. Ispol'zovaniye polimernykh dispersiy dlya remonta napornykh pozharnykh rukavov [Use of polymer dispersions for repair of pressure fire hoses] / A. L. Nikiforov, I. A. Legkova, S. N. Ul'yeva [et al.]. *Sovremennyye naukoymkiye tekhnologii*, 2024, vol. 2 (78), pp. 93–98.

7. Nikiforov A. L., Ul'yeva S. N., Legkova I. A. Novyye podkhody k vypolneniyu kapital'nogo remonta pozharnykh rukavov [New approaches to overhaul of fire hoses]. *Sovremennyye problemy grazhdanskoй zashchity*, 2023, vol 2 (47), pp. 99–106.

Новичкова Наталья Юрьевна

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

Доктор культурологии, кандидат исторических наук

E-mail: n.nature@mail.ru

Novichkova Nataliya Uryevna

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 Cultural Sciences, Candidate of Historical Sciences

E-mail: n.nature@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

Новожилова Ксения Александровна

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

Novozhilova Ksenia Alexandrovna

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

Никифоров Александр Леонидович

Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,
Российская Федерация, г. Иваново
Доктор технических наук, старший научный сотрудник
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, senior researcher
E-mail: anikiforoff@list.ru

УДК 614.84

АНАЛИЗ ПОВЕДЕНИЯ ТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ ПРИ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОМ ВОЗДЕЙСТВИИ

А. А. ОСМОЛОВСКАЯ, О. Е. СТОРОНКИНА, Т. А. МОЧАЛОВА

Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,
Российская Федерация, г. Иваново
E-mail: anastasia-2000.06@mail.ru

Текстильные материалы широко используются в различных сферах жизни людей. Изделия из них применяют для оформления интерьера жилых помещений, кафе, ресторанов в качестве отделки мягкой мебели, портьер, декоративных элементов и т.д. Несмотря на всю красоту и изящность текстильных материалов и изделий из них, они представляют большую опасность при возникновении пожара. Волокнистый состав текстильных материалов является одним из важнейших признаков для оценки их способности к воспламенению при воздействии различных источников зажигания или оценки температурного режима, при котором происходило термическое поражение ткани.

В данной статье обсуждаются результаты экспериментального исследования морфологических признаков мебельных отделочных тканей при высокотемпературном воздействии на них. Приведена зависимость степени термического поражения образцов мебельных тканей от состава волокна. Ткани, имеющие в своем составе целлюлозные волокна, сохраняли свою структуру даже при воздействии высокой температуры, в отличие от тканей, имеющих в своем составе синтетические волокна.

Ключевые слова: текстильные материалы, морфологический анализ, оптическая микроскопия, термическая деструкция, мебельные ткани, пожарно-техническая экспертиза.

ANALYSIS OF THE BEHAVIOR OF TEXTILE MATERIALS UNDER HIGH TEMPERATURE EXPOSURE

A. A. OSMOLOVSKAYA, O. E. STORONKINA, T. A. MOCHALOVA

Federal State Budget Educational Establishment of Higher Education
«Ivanovo Fire Rescue Academy of State Firefighting Service of Ministry of Russian Federation
for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters»,
Russian Federation, Ivanovo
E-mail: anastasia-2000.06@mail.ru

Textile materials are widely used in various spheres of people's lives. Products made from them are used for interior decoration of residential premises, cafes, restaurants as finishing of upholstered furniture, curtains, decorative elements, etc. Despite all the beauty and elegance of textile materials and products made from them, they pose a great danger in the event of a fire. The fibrous composition of textile materials is one of the most important features for assessing their ability to ignite when exposed to various ignition sources or assessing the temperature regime at which thermal damage to the fabric occurred. This article discusses the results of an experimental study of the morphological characteristics of furniture finishing fabrics exposed to high temperatures. The dependence of the degree of thermal damage to furniture fabric samples on the fiber composition is presented. Fabrics containing cellulose fibers retained their structure even when exposed to high temperatures, unlike fabrics containing synthetic fibers.

Keywords: textile materials, morphological analysis, optical microscopy, thermal destruction, furniture fabrics, fire-technical examination.

Почти все пожары в жилых зданиях начинаются с возгорания текстильных материалов, которые составляют в помещении основную горючую нагрузку. Пожароопасность тканей и изделий из них обусловлена их способностью к образованию опасных факторов пожара, а повышенная горючесть и воспламеняемость способствуют быстрому распространению по ним огня.

Дознаватель или специалист по пожарно-технической экспертизе при расследовании пожаров в жилых помещениях не уделяет должного внимания обгоревшим остаткам текстильных изделий бытовой обстановки при осмотре места пожара. Важно знать поведение разнообразных текстильных материалов в условиях, похожих на условия пожара, ведь исследование следов термического поражения текстильных изделий может послужить источником информации о развитии и причине пожара [1, 2].

В судебных экспертных учреждениях для исследования обгоревших остатков текстильных материалов и изделий, изъятых с места пожара, может быть использован целый комплекс методов, который включает дифференциальный термический анализ, морфологический, химический, ИК-спектроскопию и другие. В основном на первом этапе любого экспертного исследования изучается морфологический анализ характерных признаков, присущих текстильным материалам. А оптическая микроскопия помогает

изучить морфологическое строение без разрушающего воздействия [3].

В связи с чем, целью проведенного исследования являлось изучение поведения мебельных тканей при высокотемпературном воздействии.

В качестве объектов исследования были выбраны образцы мебельных тканей, часто используемых производителями (производства Китайской Народной Республики) различного волокнистого состава.

Для моделирования нагрева текстильных материалов использовалась муфельная печь ПМ-14М1-1200. Исследование проводилось в интервале температур от 150 до 500 °С.

Морфологический анализ текстильных материалов и их карбонизованных остатков осуществляли под стереоскопическим микроскопом МСП-2, позволяющим наблюдать прямое и объемное изображение исследуемых объектов. Объекты исследовались при увеличении в 10 раз.

При проведении эксперимента были получены данные о деструкции образцов мебельных тканей при их нагревании до высокой температуры, представленные в табл. 1–6. По итогам проведенных испытаний установлено, что после термического воздействия каждый образец имеет характерные признаки, которые позволяют отличить волокна различных видов друг от друга, а также различить классы волоконобразующих полимеров [4, 5, 6].

Таблица 1. Образец ткани VIKONT после температурного воздействия

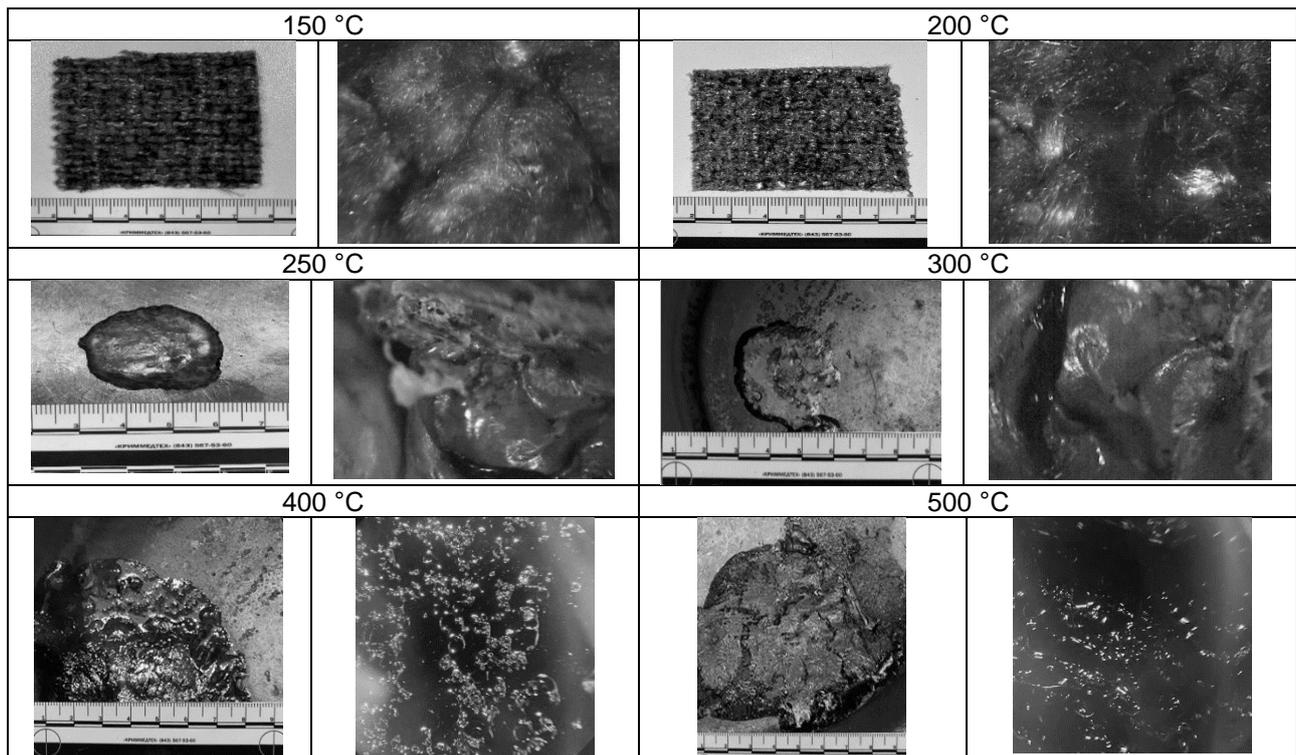


Таблица 2. Образец ткани SIENA после температурного воздействия

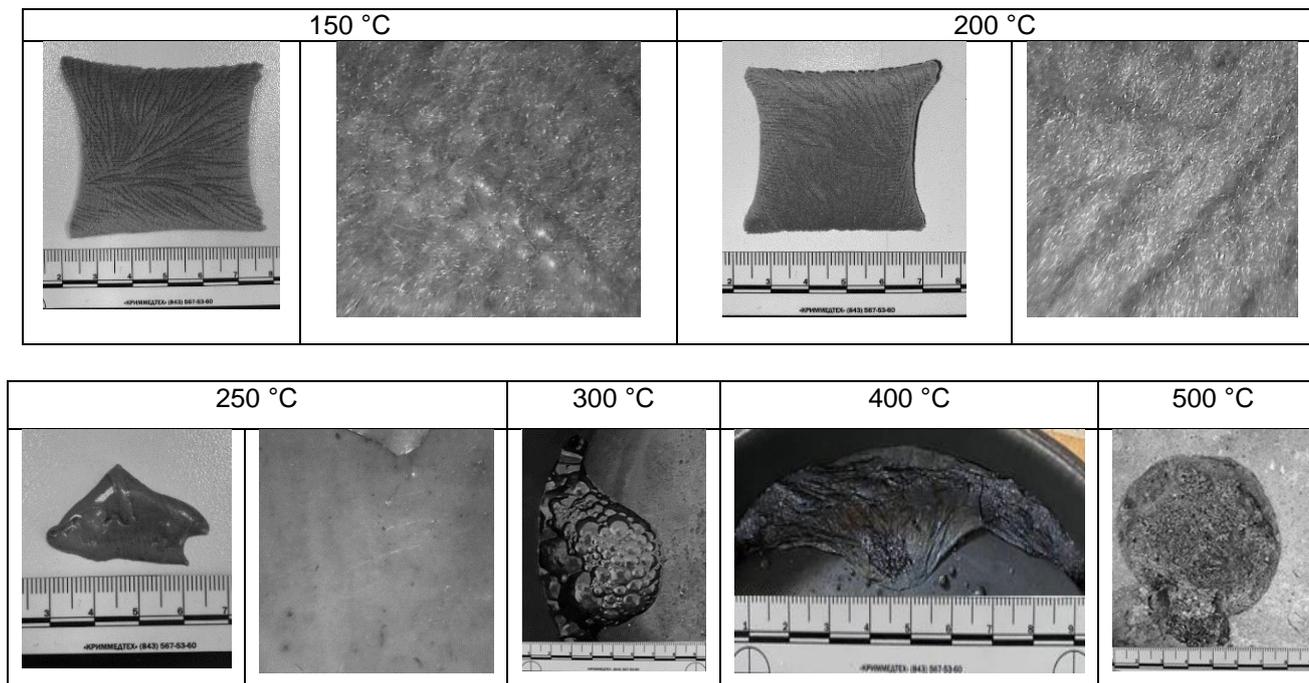
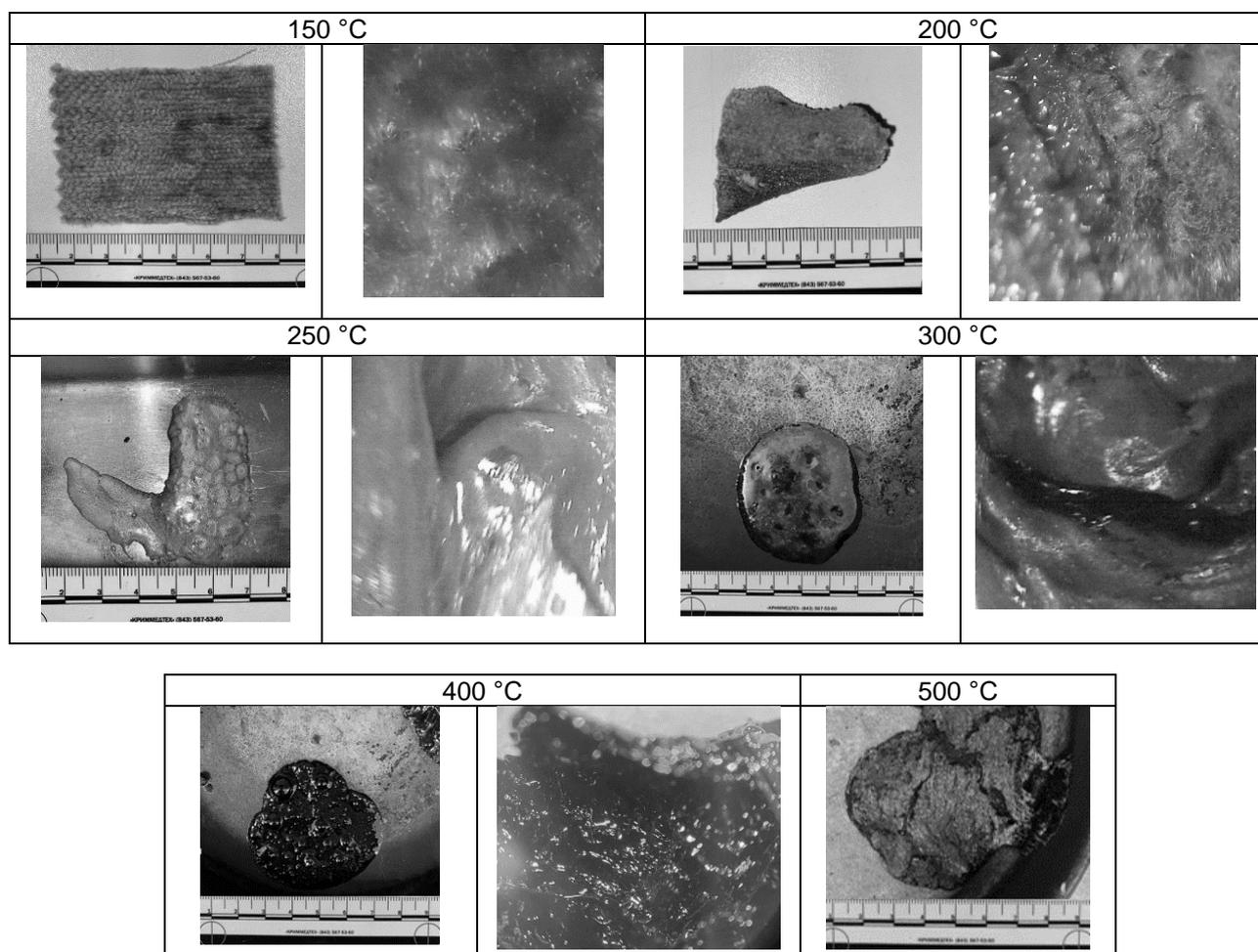


Таблица 3. Образец ткани VERSAL после температурного воздействия



При небольшом термическом воздействии (до 200 °С) особых изменений в структуре и внешнем виде образца ткани VIKONT (состав 100 % полиэстер) не наблюдалось, при дальнейшем нагреве от 250 °С до 500 °С наблюдалось изменение цвета, сплавление волокон и потеря структуры образца.

Образцы тканей SIENA и VERSAL (состав 100 % полиэстер) при низком температурном воздействии до 200°С уже начинали менять цвет, давать усадку и скручиваться (табл. 2–3). При дальнейшем температурном воздействии свыше 250 °С образцы полностью расплавились и спеклись, в связи с чем иден-

тифицировать данные объекты с образцами, изъятыми с места пожара будет невозможно.

При нагреве до температуры 250 °С образцы тканей Фьюжен Ленни 01 (состав: 67 % полиэстер, 33 % хлопок), Ламас 5А (состав: хлопок 54 %, полиэстер 46 %) видимых изменений по цвету и структуре не проявляли. При увеличении температуры до 400 °С исходный цвет тканей терялся, но спекания и расплавления не происходило, переплетение пряжи различимо (табл. 4–5). С увеличением температуры изменялся цвет тканей, образцы начинали карбонизироваться и изменять свою структуру, что свидетельствует о сгорании целлюлозной составляющей.

Таблица 4. Образец ткани Фьюжен Ленни 01 после температурного воздействия

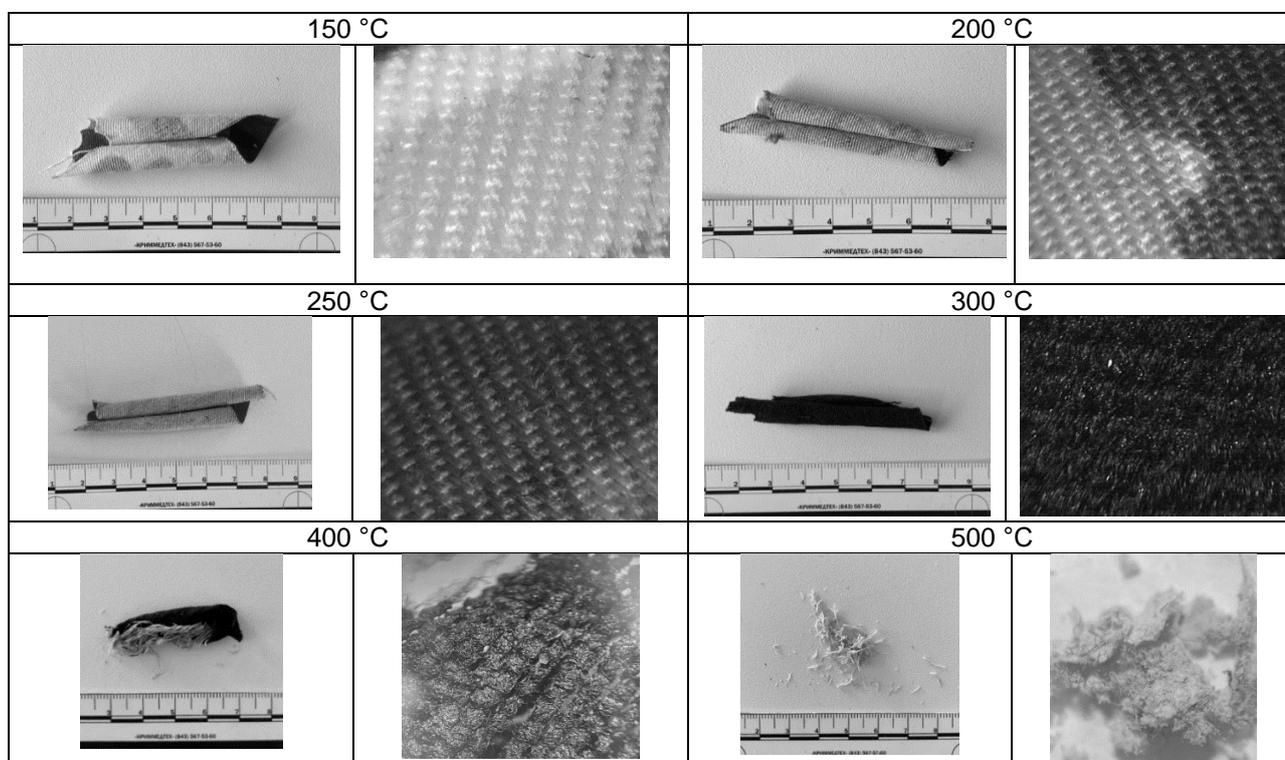
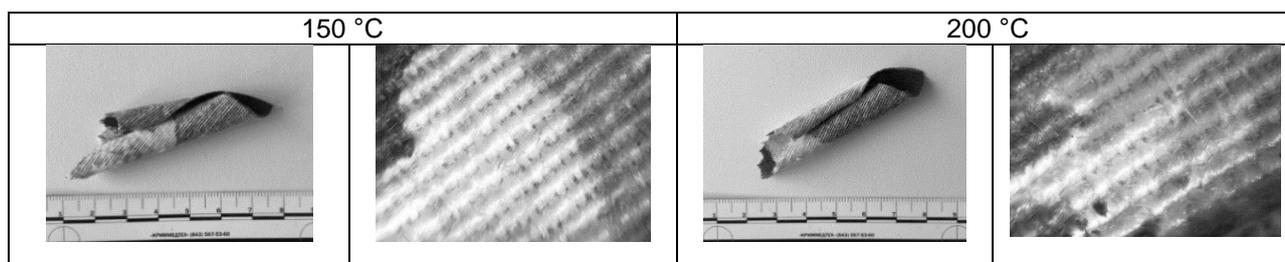


Таблица 5. Образец ткани Ламас 5А после температурного воздействия



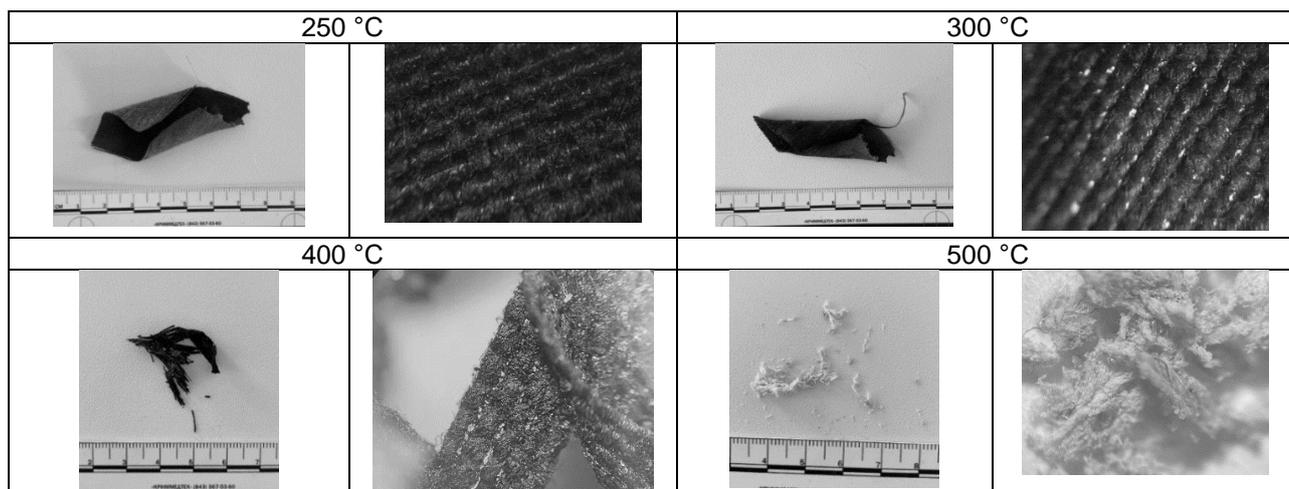
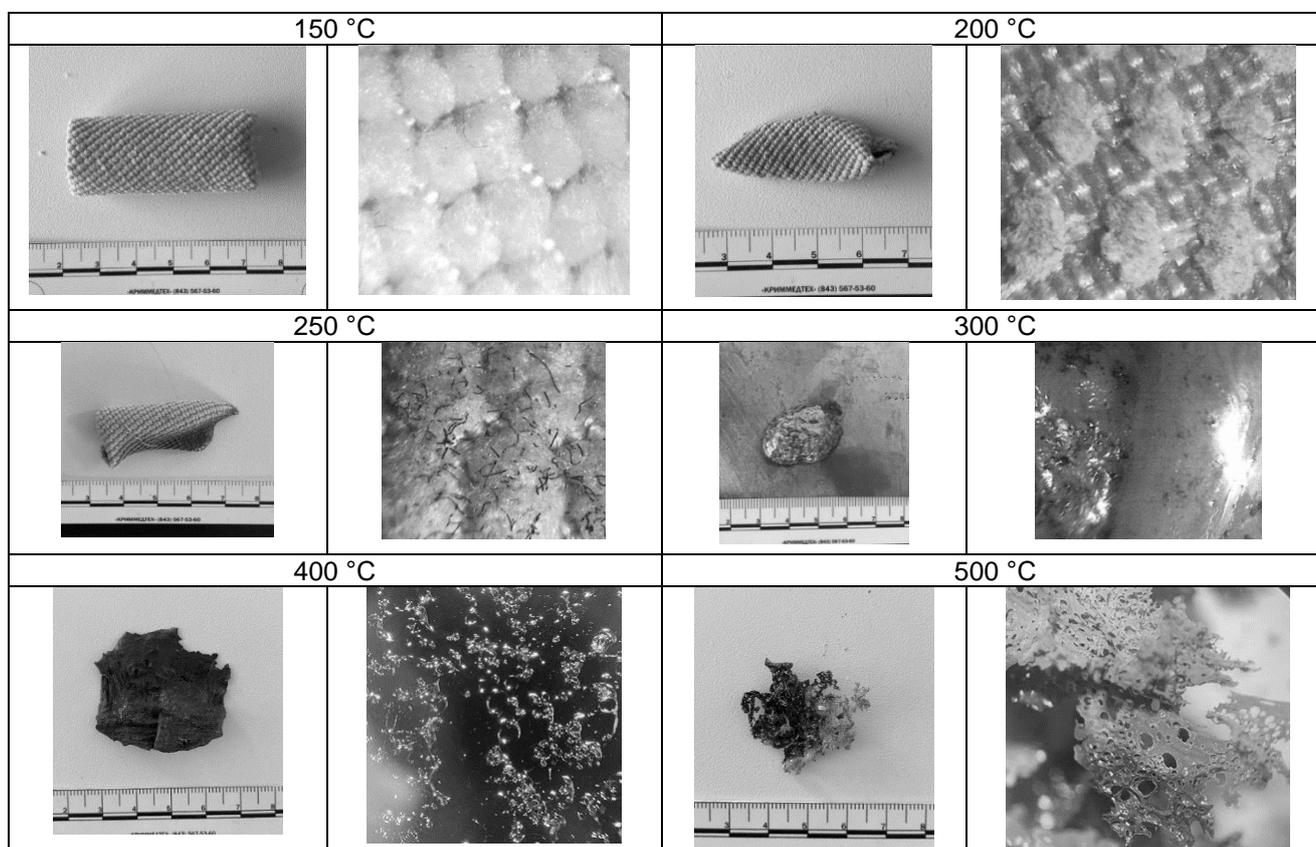


Таблица 6. Образец ткани VERONA Vanilla после температурного воздействия



Образец ткани VERONA Vanilla (состав: 89 % полиэстер, 7 % полиамид, 4 % хлопок), имея в своем составе целлюлозные волокна, при термическом воздействии вел себя также как образцы тканей VIKONT, SIENA и VERSAL, имеющие в своем составе 100 % полиэстер.

Результаты проведенного морфологического анализа показывают, что каждый образец ткани при постепенном нагреве имел характерные изменения цвета, структуры волокна и строения, которые позволяют отличить волокна различных видов. Так, мебельные

ткани, имеющие в своем составе синтетические волокна (100 % полиэстер) даже при низком температурном воздействии до 250 °C сильно деформировались и спекались, не сохраняя на себе никаких исходных морфологических признаков, таких как структура волокна и цвет (табл. 1–3, 6). Образцы тканей, имеющие в составе натуральные волокна (хлопок в различном процентном соотношении), оказались более термически устойчивыми, по сравнению с образцами из синтетических волокон, то есть, температура деструкции этих образ-

цов выше и составляет порядка 400 °С (табл. 4–5).

Таким образом, морфологический анализ методом оптической микроскопии может

Список литературы

1. Чешко И. Д. Экспертиза пожаров (объекты, методы, методики исследования). СПб.: СПб ИПБ МВД России, 1997. 560 с.

2. Осмоловская А. А., Сторонкина О. Е., Мочалова Т. А. Обзор методов экспертного исследования обгоревших текстильных материалов // Современные пожаробезопасные материалы и технологии: сборник материалов VI Международной научно-практической конференции. Иваново: Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, 2023. С. 304–306. EDN EGGSEX.

3. Долгушина Л. В. Влияние температуры на текстильные материалы и возможности идентификации ткани методом оптической микроскопии / Научно-аналитический журнал «Сибирский пожарно-спасательный вестник». 2021. Вып. 3 (22). С. 64–70.

4. Осмоловская А. А. Исследование поведения текстильных материалов при высокоинтенсивном нагреве // Молодые ученые в решении актуальных проблем безопасности: Сборник материалов XII Всероссийской научно-практической конференции. Железногорск: ФГБОУ ВО «Сибирская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России», 2023. С. 236–238. EDN GPBLDL.

5. Сторонкина О. Е., Мочалова Т. А. Морфологическое исследование обгоревших текстильных материалов для пожарно-технической экспертизы // Пожарная и аварийная безопасность: сборник материалов XVII Международной научно-практической конференции, посвященной 90-й годовщине образования гражданской обороны. Иваново: Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, 2022. С. 205–208. EDN HWEMYJ.

References

1. Cheshko I. D. *Ekspertiza pozharov (ob"yekty, metody, metodiki issledovaniya)* [Fire examination (objects, methods, research techniques)]. SPb.: SPb IPB MVD Rossii, 1997. 560 p.

применяться для исследования объектов, изъятых с места пожара, которые могут быть приобщены к делу в качестве вещественных доказательств.

2. Osmolovskaya A. A., Storonkina O. Ye., Mochalova T. A. *Obzor metodov ekspertnogo issledovaniya obgorevshikh tekstil'nykh materialov* [Review of methods for expert examination of burnt textile materials]. *Sovremennyye pozharobezopasnyye materialy i tekhnologii: sbornik materialov VI Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii*. Ivanovo: Ivanovskaya pozharno-spatatel'naya akademiya GPS MCHS Rossii, 2023, pp. 304–306. EDN EGGSEX.

3. Dolgushina L. V. *Vliyaniye temperatury na tekstil'nyye materialy i vozmozhnosti identifikatsii tkani metodom opticheskoy mikroskopii* [The influence of temperature on textile materials and the possibility of fabric identification using optical microscopy]. *Nauchno-analiticheskiy zhurnal «Sibirskiy pozharno-spatatel'nyy vestnik»*, 2021, vol. 3 (22), pp. 64–70.

4. Osmolovskaya A. A. *Issledovaniye povedeniya tekstil'nykh materialov pri vysokointensivnom nagreve* [Study of the behavior of textile materials under high-intensity heating]. *Molodyye uchenyye v reshenii aktual'nykh problem bezopasnosti: Sbornik materialov XII Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii*. Zheleznogorsk: FGBOU VO «Sibirskaya pozharno-spatatel'naya akademiya» Gosudarstvennoy protivopozharnoy sluzhby Ministerstva Rossiyskoy Federatsii po delam grazhdanskoy oborony, chrezvychaynym situatsiyam i likvidatsii stikhiynykh bedstviy", 2023, pp. 236–238. EDN GPBLDL.

5. Storonkina O. Ye., Mochalova T. A. *Morfologicheskoye issledovaniye obgorevshikh tekstil'nykh materialov dlya pozharnotekhnicheskoy ekspertizy* [Morphological study of burnt textile materials for fire-technical examination] // *Pozharnaya i avariynaya bezopasnost': sbornik materialov XVII Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, posvyashchennoy 90- y godovshchine obrazovaniya grazhdanskoy oborony*. Ivanovo: Ivanovskaya pozharno-spatatel'naya akademiya GPS MCHS Rossii, 2022, pp. 205–208. EDN HWEMYJ.

Осмоловская Анастасия Александровна

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

преподаватель кафедры

E-mail: anastasia-2000.06@mail.ru

Osmolovskaya Anastasia Aleksandrovna

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

Russian Federation, Ivanovo

lecturer at the department

E-mail: anastasia-2000.06@mail.ru

Сторонкина Ольга Евгеньевна

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

кандидат химических наук, доцент кафедры

E-mail: oleg1968@mail.ru

Storonkina Ol'ga Evgen'evna

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

Russian Federation, Ivanovo

candidate of chemical sciences, associate professor

E-mail: oleg1968@mail.ru

Мочалова Татьяна Александровна

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

кандидат биологических наук, заместитель начальника кафедры

E-mail: mihailmochalov@mail.ru

Mochalova Tat'jana Aleksandrovna

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

Russian Federation, Ivanovo

candidate of biological sciences, deputy head of department

E-mail: mihailmochalov@mail.ru

УДК 621.8

АНАЛИЗ КОНСТРУКЦИЙ МОБИЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ ДЛЯ ТУШЕНИЯ ЛАНДШАФТНЫХ ПОЖАРОВ

А. А. ПОКРОВСКИЙ, В. В. КИСЕЛЕВ, П. В. ПУЧКОВ, А. А. СИДОРОВ

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

E-mail: aapokrovsky@mail.ru, slavakis76@mail.ru, palpuch@mail.ru, andipaint@yandex.ru

Ландшафтные пожары представляют собой стихийное, неконтролируемое распространение огня по растительному покрову. К ним относятся степные и низовые лесные пожары. Представленные в статье статистика и последствия ландшафтных пожаров на территории Российской Федерации показывают, что данные пожары возникают далеко от населенных пунктов и водоисточников. Основным огнетушащим веществом при тушении данных пожаров является вода, а ее доставка к месту пожара на значительные расстояния пожарными автомобилями не всегда экономически оправдана. Поэтому в настоящее время в тактике по тушению ландшафтных пожаров все чаще возникает необходимость внедрения малых мобильных средств пожаротушения.

Актуальность работы заключается в исследовании, направленном на создание мобильного средства пожаротушения на базе транспортного средства повышенной проходимости. На основе рассмотренных в статье способов профилактики и тушения ландшафтных пожаров и обзора применяемого для этих целей пожарного оборудования проведен анализ существующих высокоэффективных конструкций мобильных средств пожаротушения, которые наиболее целесообразно применять при локализации и тушении ландшафтных пожаров, минимизировав при этом материальные и людские ресурсы. Представленный в статье анализ мобильных средств пожаротушения направлен на разработку модели конструкции унифицированной платформы, предназначенной для тушения территориально распространяющихся лесных и степных пожаров.

Ключевые слова: ландшафтный пожар, локализация, транспортное средство, мобильное средство пожаротушения.

ANALYSIS OF MOBILE DEVICE DESIGNS FOR EXTINGUISHING LANDSCAPE FIRES

A. A. POKROVSKY, V. V. KISELEV, P. V. PUCHKOV, A. A. SIDOROV

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: aapokrovsky@mail.ru, slavakis76@mail.ru, palpuch@mail.ru, andipaint@yandex.ru

Landscape fires are the spontaneous, uncontrolled spread of fire across vegetation. These include steppe and ground forest fires. The statistics and consequences of landscape fires on the territory of the Russian Federation presented in the article show that these fires occur far from populated areas and water sources. The main extinguishing agent when extinguishing these fires is water, and its delivery to the fire site over considerable distances by fire trucks is not always economically justified. Therefore, at present, in tactics for extinguishing landscape fires, there is increasingly a need to introduce small mobile fire extinguishing equipment.

The relevance of the work lies in the research aimed at creating a mobile fire extinguishing vehicle based on an off-road vehicle. Based on the methods of preventing and extinguishing landscape fires discussed in the article and a review of the firefighting equipment used for these purposes, an analysis of existing highly effective designs of mobile fire extinguishing equipment is carried out, which are most appropriate to use when localizing and extinguishing landscape fires, while minimizing material and human resources. The analysis of mobile fire extinguishing equipment presented in the article is aimed at developing a design model of a unified platform designed to extinguish geographically spreading forest and steppe fires.

Keywords: landscape fire, localization, vehicle, mobile fire extinguishing equipment.

Как известно, ландшафтный пожар является неконтролируемым процессом горения, который возникает стихийно и распространяется в природной среде. Такой тип пожара способен охватывать разные компоненты ландшафта местности. Огневому воздействию могут подвергаться лесные массивы, кустарники, другие типы природной растительности, встающие на пути распространения огня. Такой тип пожара представляет серьезную опасность не только для окружающей среды, но и для населения, проживающего в непосредственной близости к местам возникновения пожаров, а также для экономики муниципальных образований и страны в целом, поскольку может произойти переход ландшафтного или лесного пожара на территории населенных пунктов. Такие случаи происходят довольно часто. Это является серьезной проблемой, которая не остается без внимания руководства МЧС России. Так 15 февраля 2023 года на расширенной коллегии министерства была озвучена цифра, согласно которой в 2022 году было 56 таких переходов на населенные пункты, в результате чего от воздействия огня пострадали более 300 домостроеваний. В целом же в зоне возможного перехода ландшафтных пожаров находилось свыше 23,5 тысяч населенных пунктов Российской Федерации.

По итогам пожароопасного периода предыдущего года общая площадь ландшафтных пожаров на территории страны превысила 4,3 миллионов гектар, что превысило более чем на 30 % значения 2022 года. Наиболее сильно от воздействия ландшафтных пожаров пострадали такие регионы страны как Республика Саха, Хабаровский край, Магаданская область, Свердловская область. Приведем еще несколько примеров резонансных ландшафтных пожаров, произошедших ранее.

Пожары июля–августа 2010 года, стали следствием небывалой жаркой погоды, установившейся на территории европейской части страны. Было зафиксировано свыше 30 тысяч очагов пожаров в 17 регионах Российской Федерации с общим материальным ущербом свыше 85 млрд рублей.

20 апреля 2012 года в Амурской области в селе Тыгда пожаром, ставшим следствием ландшафтных пожаров, было уничтожено 84 жилых дома, в результате чего погибло 3 человека. Апрель 2016 года — природные пожары в Хакасии, возникшие вследствие сжигания сухой травы. Погибло 32 человека, пострадавших более полутора тысяч. 24 мая 2017 года из-за пала травы сгорело свыше 80 домостроеваний в городах Канск, Лесосибирск. Погибли двое. 23 августа 2017 года крупные ландшафтные пожары на территории Волгоградской области, ставшие следствием

полного уничтожения от огня более 150 домов. 9 июля 2021 года следствием лесных пожаров в Челябинской области сгорело 72 строения, несколько человек обратились за медицинской помощью в больницы.

По мнению специалистов Государственного пожарного надзора основной причиной ежегодно возникающих пожаров является деятельность человека. Это может быть неосторожное обращение с огнем, его разведение в неполюженном месте, нарушение установленных правил противопожарного режима, детская шалость, а также ряд других антропогенных факторов.

Среди наиболее распространенных ландшафтных пожаров следует отметить травяные палы. Под действием весенних погодных условий прошлогодняя трава быстро высыхает и легко загорается от любого источника зажигания. Основной опасностью травяного пала является его быстрое распространение под воздействие ветровых нагрузок. Такое горение является неконтролируемым, способным быстро распространяться на большие площади со значительной скоростью. Часто безобидное горение травы может представлять серьезную угрозу домовладениям граждан [1].

В результате возникновения ландшафтного пожара возникает целый ряд поражающих факторов, основными из которых являются:

- высокие температуры, приводящие к возгоранию всех горючих материалов на пути распространения пожара;
- задымление больших площадей, которое может привести при определенных концентрациях к отравлению окисью углерода или служить раздражителем для людей;
- ограничение видимости, что может приводить к дорожно-транспортным происшествиям на автострадах и прочих дорогах;
- паника среди населения.

Таким образом, ландшафтные пожары создают серьезную угрозу для безопасности граждан. Профилактика пожаров такого типа является важной государственной задачей. В июне 2022 года был подписан указ о борьбе с лесными пожарами и дано поручение сократить площадь ландшафтных пожаров не менее чем на 50 % к 2030 году относительно уровня 2021 года.

Так как к ландшафтным пожарам относятся лесные, торфяные и степные, то для обеспечения пожарной безопасности необходимо обеспечить выполнение комплекса общих мероприятий:

- противопожарная профилактика;
- прогнозирование ландшафтных пожаров;

- противопожарное обустройство территорий;
- обнаружение пожаров;
- тушение и локализация пожаров.

Выполнение мероприятий по профилактике ландшафтных пожаров начинают с пропаганды охраны степных и лесных ландшафтов среди всех слоев и возрастных групп населения. Данные мероприятия выполняются в соответствии с нормативно-правовой базой федерального и регионального уровней. Одним из элементов данных мероприятий является введение запретов на хозяйственную деятельность на территориях при достижении критических значений показателей пожарной опасности. В этот период времени населению запрещается пользоваться открытым огнем, разводить костры, выжигать травяной покров на открытых степных пространствах, оставлять на освещенном солнцем месте бутылки или осколки из стекла, поскольку, фокусируя солнечные лучи, стекло может работать как зажигательная линза.

Борьба с ландшафтными пожарами включает в себя мероприятия по их прогнозированию и обнаружению. Данные мероприятия объединены в систему мониторинга. В рамках данной системы необходимо создание материально-технической базы для наблюдения за лесными, торфяными и степными пожарами. Данная система наблюдения может быть основана на использовании спутникового мониторинга, систем видеонаблюдения, применения беспилотных летательных аппаратов, наземного патрулирования территорий. Важным звеном в системе мониторинга является прогнозирование пожарного риска и последующих факторов развития пожара, ущерба от него, вероятности угрозы населенным пунктам. В настоящее время одним из наиболее эффективных способов раннего обнаружения степных пожаров является использование современных геоинформационных систем. Одним из преимуществ геоинформационных технологий в составлении карт растительного покрова является способ применения данных дистанционного зондирования.

Еще одной важной системой предотвращения ландшафтных пожаров является противопожарное обустройство территорий. Обустройство территорий включает в себя проведение работ по очистке территорий от сухостоя, строительство лесохозяйственных и противопожарных дорог, искусственных противопожарных водоемов, создание противопожарных разрывов и барьеров (минерализованных полос); повышение противопожарной устойчивости путем создания защитных лесных полос из огнестойких древесных лиственных пород и кустарниково-травянистой растительности [2].

При возникновении ландшафтных пожаров в их тушении задействуют силы и средства. Силами при тушении пожаров выступают сотрудники Государственной противопожарной службы МЧС России, волонтеры, местные жители и т.д. Под средствами тушения пожара понимают совокупность оборудования и пожарной техники для тушения пожара, а также техники необходимой для доставки к месту пожара сил и огнетушащих средств. На сегодняшний день нет однозначного ответа на вопрос, какое соотношение между силами и средствами является наиболее эффективным при тушении ландшафтных пожаров. Является ли доставка большого запаса воды и использование механизированных систем или ограничить использование техники количеством привлеченных сил. Для ответа на данный вопрос необходимо провести обзор пожарного оборудования и транспортных средств, применяемых в ходе тушения ландшафтных пожаров.

Основным огнетушащим веществом при тушении данных пожаров является вода, а ее доставка к месту пожара на значительные расстояния пожарными автомобилями и само применение таких автомобилей не всегда экономически оправдано. Поэтому в настоящее время в тактике по тушению ландшафтных пожаров все чаще возникает необходимость внедрения малых мобильных средств пожаротушения. Применение данных средств обусловлено их экономичностью, практичностью и возможностью доставки с их помощью сил и средств в наиболее короткий временной показатель непосредственно на место работы. Также применение мобильных средств пожаротушения позволяет приступить к тушению пожаров в удаленных населенных пунктах сельской местности до прибытия основных сил подразделений пожарной охраны [3, 4].

К мобильным средствам пожаротушения относятся транспортные или транспортируемые пожарные машины и механизмы, предназначенные для использования личным составом подразделений пожарной охраны при тушении пожаров. Для тушения ландшафтных пожаров хорошо зарекомендовали себя прицепные пожарные модули различной комплектации. На рис. 1 представлен мобильный универсальный пожарный модуль МУПМ-300 [5].

Модуль — это прицепное транспортное средство на базе одноосного легкового прицепа с возможностью подавать воду, как из встроенного резервуара, так и из внешних источников. Модуль транспортируется любым средством передвижения, имеющим шаровое сцепное устройство. В состав модуля входят:

- ёмкость из нержавеющей стали объемом 300 литров с указателем уровня заполнения, заливной горловиной и сливным кра-

ном;

- высоконапорная самовсасывающая мотопомпа «Спрут-3»;
- 4 скатки рукавов диаметром 25 мм, 2 скатки рукавов диаметром 51 мм, ствол диаметром 51 мм, два ствола диаметром 25 мм, всасывающий рукав диаметром 51 мм и длиной 4 м;
- установка противопожарная высокого давления УПВД «Ермак»;
- ящик для размещения противопожарного снаряжения.



Рис. 1. Пожарный модуль МУПМ-300

Для ликвидации ландшафтных пожаров может применяться мобильный пожарный комплекс МПК-2.0 (рис. 2), который предназначен для локализации и ликвидации пожаров путем подачи воды с забором воды, как из собственной цистерны, так и посторонней; хранения и транспортировки пожарнотехнического вооружения и огнетушащих веществ.



Рис. 2. Мобильный пожарный комплекс МПК-2.0

Модуль имеет емкость для воды объемом 2000 литров и может комплектоваться насосами различных производителей Tohatsu, Koshin, Honda, Subaru с производительностью от 400 до 2000 л/мин. Отличается небольшими

габаритами и маневренностью.

В пожарно-спасательных подразделениях Ставропольского края для ликвидации степных пожаров применяется мобильный прицепной пожарный модуль для квадроцикла (рис. 3).



Рис. 3. Прицепной пожарный модуль для квадроцикла

Модуль предназначен для локализации и ликвидации пожаров путем подачи воды, а также хранения и транспортировки пожарного вооружения. Модуль включает в себя прицеп модели МЗСА 817710.012, и размещенные в нем насос высокого давления Lifan 168FB-2 и емкость для воды объемом 250 литров. Емкость в прицепе закреплена металлическими стяжками. В нижней части емкости имеется штуцер для забора воды насосом, а в верхней части расположена заливная горловина. Насос имеет небольшую массу и обеспечивает небольшой расход воды, при использовании пистолета высокого давления, что позволяет эффективно проводить тушение степных пожаров. Транспортировка модуля осуществляется легким и проходимым квадроциклом РМ 500-2. Квадроцикл, имея незначительный вес и технические характеристики вездехода, имеет возможность маневрирования по узким проездам и бездорожью и может обеспечить доставку в наиболее короткий временной интервал огнетушащих веществ к месту тушения пожара [6].

Для транспортировки прицепных пожарных модулей могут использоваться транспортные средства на базе шасси различной грузоподъемности и конструктивного исполнения: легковые автомобили повышенной проходимости, багги, тракторы. На выбор транспортного средства влияют его тягово-скоростные характеристики, проходимость, грузоподъемность, особенности местности применения, удаленность от места тушения пожаров. Грузовые транспортные средства по сравнению с легковыми обладают большей

грузоподъемностью и большей вместительностью. Но в тоже время они имеют ряд недостатков, таких как большая стоимость приобретения, обслуживания и ремонта; большой расход топлива; высокие требования к лицам, допущенным к управлению; высокое расположение центра тяжести. Поэтому для доставки пожарных модулей к месту тушения ландшафтных пожаров часто используют мобильные транспортные средства на базе легкового шасси.

К одной из разновидностей мобильных транспортных средств на базе легкового шасси относится багги. Багги представляют собой небольших размеров лёгкие скоростные автомобили с высокими внедорожными характеристиками. Именно поэтому данные автомобили необходимо использовать в МЧС России наряду с квадроциклами для повышения эффективности действий пожарно-спасательных подразделений при тушении ландшафтных пожаров. Легкие скоростные автомобили позволят расширить функциональные возможности пожарных и спасателей, а также снизить время реагирования на ЧС в малонаселенных районах с неразвитой инфраструктурой и дорожной сетью.

Следует отметить целый ряд достоинств данного вида транспортного средства, а именно: высокая динамика, легкость в управлении, высокая курсовая устойчивость практически на любом грунте, высокие внедорожные качества, простота в обслуживании, ремонтнопригодность и др. Легкая и надежная рама багги позволяет развивать автомобилю высокую скорость и маневренность при движении по бездорожью. Нередко для снижения веса у таких автомобилей конструкцией не предусмотрены двери и крылья. Неоспоримым достоинством таких автомобилей является высокий дорожный просвет (клиренс), что позволяет им легко преодолевать скалистую и болотистую местность, а также песчаные барханы. Для перевозки полезных грузов, а именно огнетушащих веществ, пожарного оборудования для тушения ландшафтных пожаров багги можно дополнительно дооснастить прицепом [7].

Однако багги не лишены недостатков, так как кузов практически полностью открыт, поэтому для водителя и пассажира невозможно создать полную безопасность в случае опрокидывания автомобиля. При проектировании багги для пожарно-спасательных подразделений МЧС России для обеспечения безопасности экипажа необходимо предусмотреть установку дверей с механическим устройством фиксации.

Для создания легкого многоцелевого высокоманевренного пожарного автовездехода для транспортировки личного состава МЧС

России и пожарного оборудования для оперативного тушения ландшафтных пожаров (возгораний) следует провести анализ выпускающихся в нашей стране современных моделей багги. Следует отметить, что в настоящее время багги встречаются самые разные и по целевому назначению, и по конструкции. Вместимость багги может быть от двух до пяти человек, они могут быть оснащены как бензиновыми, дизельными, так и электрическими двигателями, кроме того, привод может быть задний или полный в зависимости от выполняемых задач.

Рассмотрим некоторые легковые шасси российских производителей, которые потенциально можно использовать для создания специализированного мобильного транспортного средства для МЧС России. Например, компания «Ф-МоторСпорт» выпускает багги модели «АЛАБАЙ-5» (рис. 4).



Рис. 4. Многоцелевой снегоболотоход, автовездеход Алабай-5

Автовездеход «АЛАБАЙ-5» предназначен для перемещения по степи, пустыне, горной местности и т.п. Он имеет небольшие габариты 3250x1950x1700 мм, рассчитан на экипаж из 2-х человек, его сухая масса составляет 850 кг, а грузоподъемность — 300 кг. Если создать пожарный мини автомобиль на базе данного шасси, который будет транспортировать двух пожарных, то полезным грузом можно будет дооснастить всего лишь до 100–120 кг. «АЛАБАЙ-5» может развить скорость до 145 км/ч, что позволит пожарным и спасателям оперативно прибывать на ликвидацию ЧС. Следует отметить достаточно большой дорожный просвет в 300–350 мм и большой ход передней подвески до 450 мм, что положительно скажется на внедорожных характеристиках, разрабатываемого автомобиля. Данный автомобиль оснащен атмосферным бензиновым двигателем с рабочим объемом 2000 см³ и мощностью 150 л.с. «АЛАБАЙ-5» может быть оснащен как механической, так и автоматиче-

ской коробкой передач. Следует отметить, что данный багги оснащен багажником на крыше и багажным отсеком за пассажирскими креслами, которые могут использоваться для размещения пожарного вооружения.

Далее рассмотрим легкий тактический автовездеход (багги) Чаборз М-3, разработанный компанией «Зенит-Дефенс», который получил большую популярность и высокие оценки в силовых структурах России (рис. 5).



Рис. 5. Легкий высокопроходимый автовездеход Чаборз М-3

Багги Чаборз М-3 предназначен для перемещения по степи, пустыне, горной местности, лесам, оврагам, заболоченным участкам и для преодоления небольших бродов. Как и багги «АПАБАЙ-5» «Чаборз М-3» имеет небольшие габаритные размеры 3100x1900x1460 мм. Вместимость автомобиля составляет 2–3 человека, сухая масса составляет 820 кг, а грузоподъемность 350–400 кг. Если экипаж данного автомобиля будет состоять из 2-х человек, то данный автомобиль сможет увезти еще около 200–220 кг полезного груза — в нашем случае — это пожарное вооружение. «Чаборз М-3» способен развить скорость свыше 167 км/ч, что очень важно для решения оперативных задач. Дорожный просвет данного багги в 350 мм и большой ход передней подвески до 450 мм наделяют его хорошими внедорожными характеристиками. Автомобиль оснащён четырехцилиндровым 16-ти клапанным бензиновым двигателем объемом 1600 см³ и мощностью 98 л.с. [8].

Еще одним перспективным автомобилем российской разработки является многоцелевой аэромобильный автомобиль «ИРБИС» компании Иннтех. Данная компания выпускает три модификации багги: компактная легкая версия «ИРБИС-320» грузоподъемностью 600 кг, усиленная легкая версия ИРБИС-360 грузоподъемностью 750 кг и полноразмерная версия «ИРБИС-420» грузоподъемностью 1500 кг. Остановимся на рассмотрении багги «ИРБИС-420» (рис.6).



Рис. 6. Многоцелевой аэромобильный автомобиль «ИРБИС-420»

Данный автомобиль оснащен четырёхцилиндровым дизельным двигателем с турбонаддувом объемом 1998 см³ и мощностью 141 л.с. Запас хода такого автомобиля составляет 700 км, учитывая, что объем топливного бака составляет 70 л можно сделать вывод, что средний расход топлива составляет всего 10л/100 км. Количество мест для экипажа составляет 4–5 мест. «ИРБИС-420» имеет высокий дорожный просвет в 200–250 мм и постоянный полный привод, что позволяет ему преодолевать брод глубиной до 1000 мм и преодолевать препятствия с углом въезда 45–60°. Грузоподъемность автомобиля в 1500 кг позволяет не только перевозить экипаж и все необходимое пожарное оборудование для тушения пожара, но и транспортировать емкость с водой объемом 500 л., которая так необходима для заправки ранцевых устройств пожаротушения.

Подводя итог выше сказанному, можно сделать вывод, что из рассмотренных российских багги наиболее подходящим шасси для создания специального легкового автомобиля для нужд МЧС России является «ИРБИС-420», который обладает большой грузоподъемностью, запасом хода и экономичным дизельным двигателем.

В нашем случае на основе аналитического обзора существующих мобильных средств пожаротушения необходимо разработать конструкцию мобильного средства на базе легкового шасси повышенной проходимости для тушения ландшафтных пожаров, а также предложить перечень необходимого пожарного оборудования для укомплектования данного устройства. В отличие от аналогичных по своему функциональному назначению и внедренных в эксплуатацию мобильных пожарных модулей разработанное средство должно обладать такими качествами как мобильность, опе-

ративность, проходимость в местах пересеченной местности, лесополос и кустарниковых зарослей, куда доставка огнетушащих веществ пожарными автомобилями затруднена.

Список литературы

1. Болтнева Л. И., Быстрова В. И. Региональные особенности лесных пожаров в России и возможные экологические последствия // Использование и охрана природных ресурсов. 2012. №3. С. 25–30.

2. Гусев В. Г., Дубовый В. К., Лопухова Е. Л. Метод оценки минимального расстояния от опорной полосы до кромки пожара при пуске отжига // Лесной журнал. 2012. №5. С. 38–45.

3. Концепция применения мобильного пожарного комплекса для борьбы с лесными и степными пожарами / О. А. Ивченко, К. Е. Панкин, С. С. Шаров [и др.] // Материалы II Международной научно-практической конференции «Инновации в природообустройстве и защите в чрезвычайных ситуациях». Саратов: Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н. И. Вавилова, 2015. С. 88–91.

4. Патент на полезную модель 165103 Российская Федерация МПК А 62 С 27/00. Гусеничная пожарная машина / И. А. Малый, И. Ю. Шарабанова, О. И. Орлов [и др.]; № 2015146347/12; заявл. 27.10.2015; опубл. 10.10.2016

5. Крашенинникова Е. А., Музыков А. А., Покровский А. А. Анализ мобильных средств пожаротушения для ликвидации ландшафтных пожаров // Надежность и долговечность машин и механизмов: сборник материалов XV Всероссийской научно-практической конференции. Иваново: Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, 2024. С. 115–119.

6. Бутенко М. В., Покровский А. А. Эксплуатационные показатели прицепного пожарного модуля // Надежность и долговечность машин и механизмов: сборник материалов XI Всероссийской научно-практической конференции. Иваново: Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, 2020. С. 151–153.

7. Топоров А. В., Киселев В. В., Орлов О. И. Перспективы создания пожарных микроавтомобилей // Сервис безопасности в России: опыт, проблемы, перспективы. Обеспечение безопасности при чрезвычайных ситуациях: материалы VII Международной научно-практической конференции. СПб.: Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, 2015. С. 189–191.

Отличительной особенностью конструкции в целом должна быть компоновка пожарного оборудования, которое должно размещаться не только в прицепном модуле, но и частично на самом транспортном средстве.

8. Романихин Д. Н., Киселев В. В. Обоснование выбора шасси Чаборз М-6 для создания пожарного микроавтомобиля повышенной проходимости // Общественные проблемы инженерной подготовки кадров МЧС России: сборник трудов секции № 16 XXXI Международной научно-практической конференции. Химки: ФГБВОУ ВО «Академия гражданской защиты МЧС России», 2021. С. 118–122.

References

1. Boltneva L. I., By`strova V. I. Regional`ny`e osobennosti lesny`x pozharov v Rossii i vozmozhny`e e`kologicheskie posledstviya [Regional features of forest fires in Russia and possible environmental consequences]. *Ispol`zovanie i ohrana prirodnny`x resursov*, 2012, issue 3, pp. 25–30.

2. Gusev V. G., Dubovy`j V. K., Lopuxova E. L. Metod ocenki minimal`nogo rasstoyaniya ot opornoj polosy` do kromki pozhara pri puske otzhiga [Method for estimating the minimum distance from the support strip to the edge of the fire when starting annealing]. *Lesnoj zhurnal*, 2012, issue 5, pp. 38–45.

3. Konceptsiya primeneniya mobil`nogo pozharnogo kompleksa dlya bor`by` s lesny`mi i stepny`mi pozharami [The concept of using a mobile fire complex to fight forest and steppe fires] / O. A. Ivchenko, K. E. Pankin, S. S. Sharov [et al.]. *Materialy` II Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii «Innovacii v prirodobustroystve i zashhite v chrezvy`chajny`x situaciyax»*, Saratov: Saratovskij gosudarstvennyj universitet genetiki, biotekhnologii i inzhenerii imeni N. I. Vavilova, 2015, pp. 88–91.

4. I. A. Maly`j, I. Yu. Sharabanova, O. I. Orlov [et al.] Gusenichnaya pozharnaya mashina [Crawler fire truck] Patent na poleznuyu model` 165103 Rossijskaya Federaciya IPC A 62 C 27/00, zayavl. 27.10.2015, opubl. 10.10.2016.

5. Krasheninnikova E. A., Muzy`kov A. A., Pokrovskij A. A. Analiz mobil`ny`x sredstv pozharotusheniya dlya likvidacii landshaftny`x pozharov [Analysis of mobile fire extinguishing equipment for eliminating landscape fires]. *Nadezhnost` i dolgovechnost` mashin i mexanizmov: sbornik materialov XV Vserossijskoj nauchno-prakticheskoy konferencii*. Ivanovo: Ivanovskaya pozharno-spasatel'naya akademiya GPS MCHS Rossii, 2024, pp. 115–119.

6. Butenko M. V., Pokrovskij A. A. E'kspluatacionny'e pokazateli pricepnogo pozharnogo modulya [Performance indicators of the trailed fire module]. *Nadezhnost' i dolgovechnost' mashin i mexanizmov: sbornik materialov XI Vserossijskoj nauchno-prakticheskoy konferencii*. Ivanovo: Ivanovskaya pozharno-spasatel'naya – akademiya GPS MChS Rossii, 2020, pp. 151–153.

7. Toporov A. V., Kiselev V. V., Orlov O. I. Perspektivy' sozdaniya pozharny'x mikroavtomobilej [Prospects for creating firefighting mini-vehicles]. *Servis bezopasnosti v Rossii: opyt, problemy', perspektivy'. Obespechenie bezopasnosti pri chrezvy'chajny'x situacijax: materialy'*

VII Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii. SPb: Sankt-Peterburgskij universitet GPS MChS Rossii, 2015, pp. 189–191.

8. Romanixin D. N., Kiselev V. V. Obosnovanie vy'bora shassi Chaborz M-6 dlya sozdaniya pozharnogo mikroavtomobilya pov'shennoj proxodimosti [Justification for choosing the Chaborz M-6 chassis to create an all-terrain firefighting mini-vehicle]. *Obshhenauchny'e problemy' inzhenernoj podgotovki kadrov MChS Rossii: sbornik trudov sekcii № 16 XXXI Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii*. Ximki: FGBVOU VO «Akademiya grazhdanskoj zashchity MChS Rossii», 2021, pp. 118–122.

Покровский Аркадий Алексеевич

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

Pokrovsky Arkady Alekseevich

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, assistant professor, assistant professor
E-mail: aaPokrovsky@mail.ru

Киселев Вячеслав Валериевич

Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,
Российская Федерация, г. Иваново
кандидат технических наук, доцент, начальник кафедры
E-mail: slavakis76@mail.ru

Kiselev Vyacheslav Valerievich

Federal State Budget Educational Establishment of Higher Education «Ivanovo Fire Rescue Academy of State Firefighting Service of Ministry of Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters»,
Russian Federation, Ivanovo
candidate of technical sciences, assistant professor, head of department
E-mail: slavakis76@mail.ru

Пучков Павел Владимирович

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

Puchkov 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
candidate of technical sciences, senior lecturer
E-mail: palPuch@mail.ru

Сидоров Андрей Александрович

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

кандидат педагогических наук, доцент

E-mail: *andipaint@yandex.ru*

Sidorov Andrey Alexandrovich

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

candidate of pedagogical sciences, assistant professor

E-mail: *andipaint@yandex.ru*

УДК 614.841.4

ПРОБЛЕМНЫЕ ВОПРОСЫ НОРМИРОВАНИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПОЖАРНОЙ ОПАСНОСТИ ТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

А. Х. САЛИХОВА, О. Г. ЦИРКИНА, С. А. СЫРБУ, Н. Н. КОЛЕСНИКОВА

Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,

Российская Федерация, г. Иваново

E-mail: salina_77@mail.ru, ogtsirkina@mail.ru, syrbue@yandex.ru, nina.kuzmina.1992@mail.ru

Существует общепринятое мнение, что все ткани и волокна «быстро сгорают и по ним быстро распространяется огонь». Пожаробезопасные ткани, полученные за счет использования негорючих волокон или за счет огнезащитной обработки, обладают способностью не поддерживать горение и самозатухать после удаления из пламени. Несмотря на очевидные преимущества таких материалов, в области обеспечения пожарной безопасности существуют проблемы их широкого применения, которые во многом определяются спорными вопросами в установлении требований к пожарной безопасности тканей, в определении методов испытаний на показатели пожарной опасности, а также отсутствием четких требований к области (объектам) применения негорючих тканей. Перечисленные вопросы в особенности важно решить для обоснования необходимости огнезащитной обработки материалов при эксплуатации объектов и в целях сертификации текстильной продукции. В статье рассматриваются основы нормирования показателей пожарной опасности текстильных материалов. На основе проведенного анализа формулируется обоснование необходимости систематизации и конкретизации требований пожарной безопасности к применению материалов на объектах защиты и к испытанию на определение показателей пожарной опасности.

Ключевые слова: пожарная опасность, текстильные материалы, методы испытаний, национальные стандарты, показатели пожарной опасности.

PROBLEM ISSUES IN THE STANDARDIZATION OF FIRE HAZARD INDICATORS OF TEXTILE MATERIALS

A. Kh. SALIKHOVA, O. G. TSIRKINA, S. A. SYRBU, N. N. KOLESNIKOVA

Federal State Budget Educational Establishment of Higher Education

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

Russian Federation, Ivanovo

E-mail: salina_77@mail.ru, ogtsirkina@mail.ru, syrbue@yandex.ru, nina.kuzmina.1992@mail.ru

There is a generally accepted belief that all fabrics and fibers “burn quickly and fire spreads quickly.” Fireproof fabrics, obtained through the use of non-flammable fibers or through fire retardant processing, have the ability to not support combustion and self-extinguish after removal from the flame. Despite the obvious advantages of such materials, in the field of fire safety there are problems with their widespread use, which are largely determined by controversial issues in establishing fire safety requirements for fabrics, in determining test methods for fire hazard indicators, as well as the lack of clear requirements for the field (objects) use of non-flammable fabrics. The listed issues are especially important to solve to justify the need for fire-retardant treatment of materials during the operation of facilities and for the purpose of certification of textile products. The article discusses the basics of standardization of fire hazard indicators of textile materials. Based on the analysis, a justification is formulated for the need to systematize and specify fire safety requirements for the use of materials at protection facilities and for testing to determine fire hazard indicators.

Key words: fire hazard, textile materials, test methods, national standards, fire hazard indicators.

Введение в России сертификации текстильной продукции на пожарную безопасность существенно осложнило жизнь, во-первых, производителям текстильной продукции, особенно той, которая используется для декорирования помещений; во-вторых, проектным организациям, которые осуществляют выбор материалов, которые обеспечивают выполнение требований пожарной безопасности объекта.

В Российской Федерации и зарубежных странах оценке пожарной опасности текстильных материалов (далее – ТМ) уделяется достаточно много внимания. Основным нормативным правовым актом, регламентирующим требования пожарной безопасности и оценку

пожарной опасности ТМ в России, является Федеральный закон от 22.07.2008 г. № 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» (далее – Технический регламент). Имеющиеся нормативные документы указывают на необходимость оценки тех или иных показателей пожарной опасности в зависимости от функционального назначения ТМ [1, 2].

Использование негорючих (пожаробезопасных) тканей является важным требованием на объектах с массовым пребыванием людей или на объектах связанных с нахождением маломобильных групп населения. Сферы, где нужны ТМ с пониженной пожарной опасностью, приведены на рис. 1.



Рис.1. Сферы применения текстильных материалов с нормируемыми показателями пожарной опасности

В целом, негорючие ткани играют важную роль в обеспечении пожарной безопасности и защите людей в различных сферах деятельности, где высока вероятность возгорания и распространения пламени.

В соответствии с Техническим регламентом пожарная опасность текстильных материалов основывается на способности этих материалов к образованию опасных факторов пожара и характеризуется свойствами, приведенными на рис. 2.

Определение классификационных показателей пожарной опасности ТМ осуществляется по методам испытаний, устанавливаемым нормативными документами по пожарной безопасности.

В таблице 30 Технического регламента приводятся необходимые для оценки пожарной опасности показатели с учетом функционального назначения материалов. Приведем эти данные в виде схемы рис. 3.

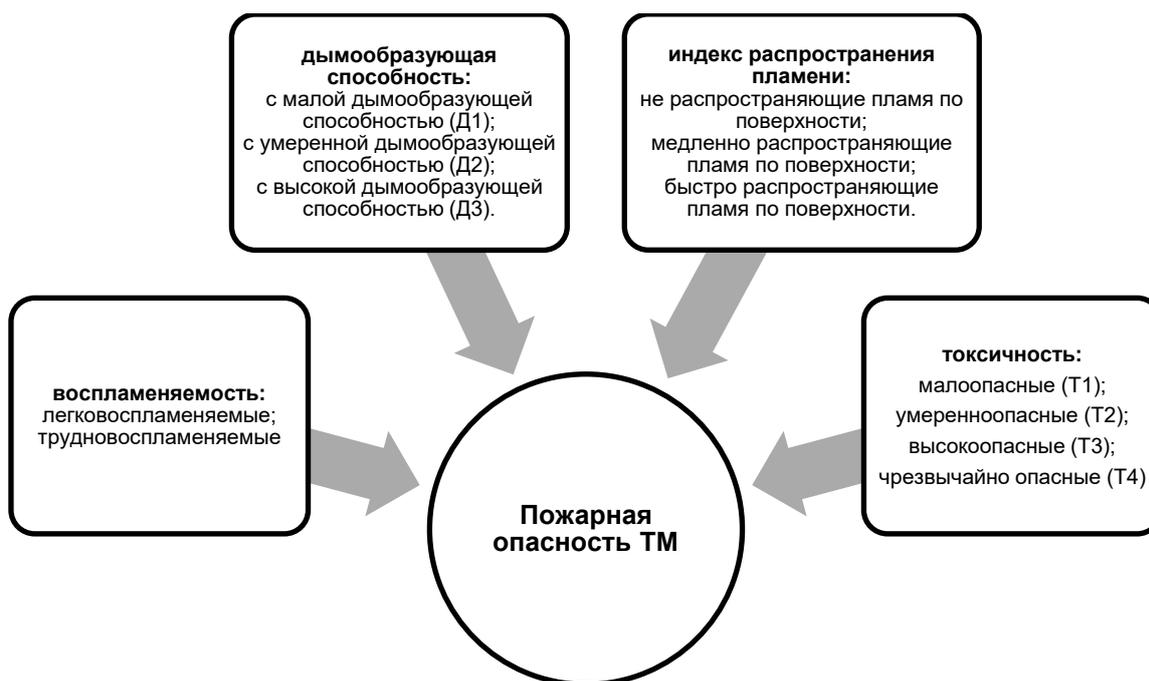


Рис. 2 Показатели пожарной опасности ТМ

| | |
|---|--|
| Шторы и занавесы | <ul style="list-style-type: none"> • Воспламеняемость • Показатель токсичности продуктов горения • Коэффициент дымообразования |
| Постельные принадлежности | <ul style="list-style-type: none"> • Воспламеняемость |
| Элементы мягкой мебели (в том числе кожаные) | <ul style="list-style-type: none"> • Воспламеняемость • Распространение пламени • Показатель токсичности продуктов горения • Коэффициент дымообразования |
| Специальная защитная одежда | <ul style="list-style-type: none"> • Воспламеняемость • Устойчивость к воздействию теплового потока • Теплозащитная эффективность при воздействии пламени |
| Ковровые покрытия | <ul style="list-style-type: none"> • Воспламеняемость • Распространение пламени • Показатель токсичности продуктов горения • Коэффициент дымообразования |

Рис. 3. Показатели, необходимые для оценки пожарной опасности различных по назначению ТМ и для нормирования требований

В таблице 30 Технического регламента указано, что знак «+» обозначает, что показатель необходимо применять, а знак «-», что показатель не применяется. В этом моменте возникает вопрос, если данная таблица используется и для установления требований, то, как определить соответствует ли материал

требованиям пожарной безопасности, поскольку отсутствуют нормативные значения в зависимости от области применения. Например, исходя из данной таблицы следует, что во всех жилых помещениях постельные принадлежности должны соответствовать требованиям пожарной безопасности по воспламеняемости.

Для исключения данного нюанса необходимо разработать нормативные требования к тканям в зависимости от особенностей объек-

та и класса функционального назначения объекта по примеру таблицы 28 Технического регламента (рис. 4).

| Класс функциональной пожарной опасности здания | Этажность и высота здания | Показатели пожарной опасности, не более указанных | | | |
|--|--|---|-----------------------------|--|-----------------------------|
| | | для стен и потолков | | для покрытия полов | |
| | | Вестибюли, лестничные клетки, лифтовые холлы | Общие коридоры, холлы, фойе | Вестибюли, лестничные клетки, лифтовые холлы | Общие коридоры, холлы, фойе |
| Ф1.2; Ф1.3; Ф2.3; Ф2.4; Ф3.1; Ф3.2; Ф3.6; Ф4.2; Ф4.3; Ф4.4; Ф5.1; Ф5.2; Ф5.3 | не более 9 этажей или не более 28 метров | Г1, В2, Д2, Т2 | Г2, В2, Д3, Т2 | В2, Д3, Т2, РП2 | В2, Д3, Т3, РП2 |
| | более 9, но не более 17 этажей или более 28, но не более 50 метров | Г1, В1, Д2, Т2 | Г1, В2, Д2, Т2 | В2, Д3, Т2, РП2 | В2, Д3, Т2, РП2 |
| | более 17 этажей или более 50 метров | НГ | Г1, В1, Д2, Т2 | В2, Д3, Т2, РП2 | В2, Д3, Т2, РП2 |
| Ф1.1; Ф2.1; Ф2.2; Ф3.3; Ф3.4; Ф3.5; Ф3.7; Ф4.1 | вне зависимости от этажности и высоты | НГ | Г1, В1, Д2, Т2 | В2, Д3, Т2, РП2 | В2, Д3, Т2, РП2 |

Рис. 4. Таблица 28 Технического регламента «Область применения декоративно-отделочных, облицовочных материалов и покрытий полов на путях эвакуации»

К таким же выводам приходят и авторы статьи [1]. Авторы считают, что для более четкого понимания требований пожарной безопасности, предъявляемых к текстильным и кожевенным материалам, в национальных стандартах и сводах правил целесообразно указать допустимость применения тех или иных материалов в зависимости от показателей пожарной опасности, приведенных в частях 13, 14 статьи 13; в части 4 статьи 135, таблице 30, с учетом вида материала, его назначения, области применения, класса функциональной пожарной опасности зданий.

О необходимости разработки четких требований пожарной безопасности к ТМ выступают и производственные объединения текстильной промышленности, выпускающие ткани декоративного назначения. Учитывая резонансные пожары последних лет на объектах массового пребывания людей, гостиницы,

торгово-развлекательные центры и другие общественные объекты обяжут использовать в отделке помещений пожаробезопасный текстиль. С предложением о совершенствовании нормативов в Минпромторг обратилась Ассоциация текстильщиков России (АТР)¹.

Существенным основанием для разработки данных норм является то, что в современном оформлении интерьеров ресторанов, развлекательных клубов, театральных залов для отделки стен, в том числе и на путях эвакуации, применяются текстильные материалы. Примеры такого дизайна помещений приведены на рис. 5.

¹ Текстильные штучки: ТЦ и отели обяжут использовать огнеупорные ткани <https://iz.ru/1559770/evgeniia-pertceva/tekstilnye-shtuchki-ttc-i-oteli-obiazhut-ispolzovat-ogneupornye-tkani?ysclid=lywgqaohtf470851364>



Рис. 5 Примеры интерьера с отделкой стен текстильным материалом

Нормативно-правовая база с требованиями к пожарной безопасности постоянно перерабатывается и совершенствуется. Но есть моменты, которые не всегда приводят к улучшению. Например, это касается характеристик показателей пожарной опасности в изложении статьи 13 Технического регламента. В таблице 30 Технического регламента обозначено, какие показатели применяются для оценки пожарной опасности, а нормативных критериев не приводится. До 2022 года в статье 13 были даны критериальные значения показателей воспламеняемости, индекса распространения пламени и др. На основании Федерального закона от 14.07.2022 № 276-ФЗ «О внесении изменений в Федеральный закон «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» они исключены, что является существенным недостатком. По результатам испытаний получается конкретный результат, но установить его соответствие требованиям норм невозможно. В связи с этим, для возможности обоснования применения материалов, соответствующих требованиям пожарной безопасности, следует привести статью в первоначальной редакции для удобства, как производителей текстильной продукции, так и для проектировщиков.

В части 15 статьи 13 Технического регламента указано, что испытания ТМ на определение показателей пожарной опасности должны проводиться согласно нормативным документам. ГОСТ 12.1.044-89 (ИСО 4589-84) ССБТ «Пожаровзрывоопасность веществ и материалов. Номенклатура показателей и методы их определения» – это основной документ, устанавливающий номенклатуру показателей пожаровзрывоопасности веществ и материалов и методы их определения. В перечень показателей пожаровзрывоопасности веществ и материалов (п.2.10) включен кислородный индекс и обоснована необходимость

установления значения кислородного индекса (далее – КИ). В тексте документа обозначено, что КИ следует применять при контроле горючести полимерных материалов, **тканей**, целлюлозно-бумажных изделий и других материалов.

Опыт проведения научных исследований в области оценки пожарной опасности тканей и разработки огнезащитных ТМ показывает значимость испытаний полученных материалов на КИ. Поэтому можно рекомендовать ввести в качестве нормируемого показателя кислородный индекс, равный 21 % и более. Определено, что величина кислородного индекса для необработанной хлопковой ткани составляет 17,2 %, для полиэфирной ткани – 22,5 %, для смесовой хлопкополиэфирной ткани – 19,6 % [2].

Рекомендуемое значение КИ обусловлено тем, что в атмосфере воздуха процентное содержание кислорода составляет 21 %, если значение КИ материала ниже 21 % – этот материал будет поддерживать горение на воздухе. Соответственно, при больших значениях КИ горючесть материала снижается. Введение этого показателя в качестве нормативного критерия потребует разработки национального стандарта, определяющего метод испытания на определение кислородного индекса. В самом ГОСТ 12.1.044-89 (ИСО 4589-84) ССБТ «Пожаровзрывоопасность веществ и материалов. Номенклатура показателей и методы их определения» дан метод испытания только для пластмасс, действующий ГОСТ 21793-76 «Пластмассы. Метод определения кислородного индекса» устанавливает процедуру для определения КИ только для пластмасс [3, 4].

Рассмотрим требования к тканям для специальной защитной одежды. В Техническом регламенте отсутствует пояснение, для каких сфер деятельности должны регламенти-

роваться показатели пожарной опасности специальной защитной одежды. В соответствии с Распоряжением Правительства РФ от 10.03.2009 N 304-р «Об утверждении перечня национальных стандартов, содержащих правила и методы исследований (испытаний) и измерений, в том числе правила отбора образцов, необходимые для применения и исполнения Федерального закона «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности», и осуществления оценки соответствия», Распоряжением Правительства РФ от 26 апреля 2022 г. № 1014-р «О внесении изменений в распоряжение Правительства РФ от 10 марта 2009 г. № 304-р» утвержден перечень национальных стандартов, содержащих правила и методы исследований (испытаний) и измерений для осуществления оценки соответствия требованиям Технического регламента:

– ГОСТ Р ИСО 6942-2007 ССБТ «Одежда для защиты от тепла и огня. Методы оценки материалов и пакетов материалов, подвергаемых воздействию источника теплового излучения»: оценивается – защитные свойства материалов при воздействии теплового излучения; получаемый результат – изменение внешнего вида образца, плотность пропущенного теплового потока, кВт/м²;

– ГОСТ Р ИСО 9151-2007 ССБТ «Одежда специальная для защиты от тепла и пла-

мени. Метод определения теплопередачи при воздействии пламени»: оценивается – теплопередача; получаемый результат – показатель передачи тепла, с;

– ГОСТ ИСО 15025-2019 ССБТ «Одежда специальная для защиты от тепла и пламени. Метод испытаний на ограниченное распространение пламени»: оценивается – распространение пламени на вертикально ориентированных материалах; получаемый результат – время остаточного горения и тления, с, длина повреждения, мм;

– ГОСТ 11209-2014 «Ткани хлопчатобумажные и смешанные защитные для спецодежды. Технические условия»: оценивается огнестойкость; получаемый результат – огнестойкая ткань, не огнестойкая ткань [2];

– ГОСТ ISO 11612-2020 ССБТ «Одежда специальная для защиты от кратковременного воздействия открытого пламени, теплового излучения, конвективной теплоты, выплесков расплавленного металла, контакта с нагретой поверхностью. Технические требования и методы испытаний»: оценивается – термостойкость, ограниченное распространение пламени; получаемый результат – термостойкость при температуре (180 ± 5) °С, термостойкость при температуре (260 ± 5) °С (дополнительное требование), распространение пламени. На рис. 6 приведены требования к оцениваемым свойствам.

| | |
|--------------------------------|---|
| Распространение пламени | <ul style="list-style-type: none"> • Ни на одной из испытываемых проб граница пламени не должна достигать верхней или любой боковой кромки |
| Горящие остатки | <ul style="list-style-type: none"> • Ни на одной из испытываемых проб не должно наблюдаться образования горящих или плавящихся остатков |
| Образование отверстий | <ul style="list-style-type: none"> • Ни на одной из испытываемых проб не должны образовываться отверстия диаметром 5 мм или более в любом направлении, за исключением промежуточного слоя, который не предназначен для защиты от тепла и пламени |
| Остаточное тление | <ul style="list-style-type: none"> • Время остаточного тления должно составлять не более 2 с. • Свечение внутри обугленной области определяется в ISO 15025 как тление без горения, в контексте данного пункта не рассматривается как остаточное тление |
| Остаточное горение | <ul style="list-style-type: none"> • Время остаточного горения должно составлять не более 2 с |

Рис. 6. Соответствие образцов эксплуатационным требованиям при испытании на ограниченное распространение пламени

Как было приведено выше, по таблице 30 Технического регламента для тканей специальной защитной одежды должны оцениваться воспламеняемость, устойчивость к воздействию теплового потока, теплозащитная эффективность при воздействии пламени. Проведенный анализ национальных стандартов по методам испытаний не позволил нам выявить документ, где были бы получены именно эти показатели. В самом Техническом регламенте отсутствуют нормативные критерии устойчивости к воздействию теплового потока и теплозащитной эффективности при воздействии пламени. Как было отмечено в работах [2, 5] многие методы испытаний не учитывают наличие огнезащитной обработки материалов.

Коллективом специалистов ВНИИПО МЧС России в дополнение к системе стандартов безопасности труда предлагается комплексная оценка огнезащитной эффективности рабочей одежды. Основными показателями в комплексном подходе за исключением устойчивости к прожигу расплавленной каплей и воздействию электрической дуги являются:

- воспламеняемость;
- устойчивость к воздействию лучистого теплового потока;
- устойчивость к непосредственному воздействию открытого пламени.

Для оценки воспламеняемости могут быть использованы действующие стандарты для специальной защитной одежды. В них регламентируются условия испытаний вертикально ориентированных образцов на поверхностное зажигание и скорость распространения пламени. Оба стандарта распространяются на текстильные материалы, предназначенные для средств индивидуальной защиты человека [6, 7].

Таким образом, критерии комплексной оценки пожарной опасности материалов одежды, применяемые в лабораторных методах испытаний, не заменимы для сравнительной оценки огне- и теплозащитных свойств ТМ. Кроме того, результаты испытаний дают первичную информацию о реакции материала на воздействие поражающих факторов пожара.

Список литературы

1. Нормирование показателей пожарной опасности и допустимости применения строительных, текстильных и кожевенных материалов / В. В. Шумилин, А. М. Ненуженко, А. А. Бобрышев [и др.] // Вестник Воронежского

Выводы

1. Действующий Федеральный закон от 22.07.2008 г. № 273-ФЗ «Технический регламент о правилах пожарной безопасности» требует, чтобы на всех объектах с массовым пребыванием людей, в общественных зданиях использовался пожаробезопасный текстиль. Однако в документе не конкретизируется, о каких именно местах идет речь. Необходимо решать возникший юридический казус.

2. Проведенный анализ показывает, что классификационные показатели пожароопасных свойств декоративных и технических ТМ, указанных в нормативных документах, не всегда соответствуют классификациям, которые приводятся в нормативных правовых актах и нормативных документах в области пожарной безопасности. Следует провести работу по гармонизации существующей номенклатуры тканей по назначению, оцениваемым показателям пожарной опасности и установлению критериев безопасности с учетом особенностей нормирования в зарубежных странах, являющимися наиболее популярными импортерами текстиля в Россию.

3. В действующем Перечне национальных стандартов, необходимых для применения и исполнения Федерального закона от 22.07.2008 г. № 273-ФЗ «Технический регламент о правилах пожарной безопасности» для оценки пожарной опасности текстильных материалов, содержится неполный список методов исследования. Научные исследования подтверждают внедрение новых показателей и методов испытаний тканей, которые позволят обеспечить безопасность людей на объектах с применением ТМ. Одним из важных показателей является кислородный индекс. Установление нормативного значения КИ позволит оценить возможность горения материала на воздухе [4, 5].

4. Действующие национальные стандарты для оценки пожарной опасности ТМ не позволяют провести их классификацию, определить полный перечень показателей и дать заключение о соответствии требованиям пожарной безопасности. Назрела необходимость внесения изменений, направленных на систематизацию и конкретизацию исследуемых пожароопасных свойств ТМ.

института ГПС МЧС России. 2016. № 4 (21). С. 17–21.

2. Спиридонова В. Г., Циркина О. Г. Анализ методов оценки огнезащитных свойств текстильных материалов // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2021. № 4 (394). С. 75–81.

3. Новые подходы к оценке пожароопасных свойств текстильных материалов / А. Л. Никифоров, О. Г. Циркина, С. Н. Ульева [и др.] // Сетевое издание «Пожарная и аварийная безопасность». 2019. № 4 (15). С. 11–18. URL: <http://pab.edufire37.ru/>.

4. Применение разработанных экспресс-методик оценки огнезащитных свойств текстильных материалов / В. Г. Спиридонова, О. Г. Циркина, А. Л. Никифоров [и др.] // Современные проблемы гражданской защиты. 2020. № 1 (34). С. 77–84.

5. Обоснование актуальных подходов к оценке пожароопасных свойств текстильных материалов и способов огнезащиты тканей различного функционального назначения / В. Г. Спиридонова, Д. В. Сорокин, А. Л. Никифоров [и др.] // Современные проблемы гражданской защиты. 2023. № 2 (47). С. 125–132.

6. Способы и средства огнезащиты текстильных материалов. Руководство МЧС России. Введ. 2004-01-21. М.: ФГУ ВНИИПО МЧС России, 2004.

7. Еналеев Р. Ш., Красина И. В., Сабирзянова Р. Н. Пожарная опасность загорания текстильных материалов // Фундаментальные исследования. 2015. № 2-1. С. 18–22.

References

1. Normirovanie pokazatelej pozharnoj opasnosti i dopustimosti primeneniya stroitel'nyh, tekstil'nyh i kozhevennyh materialov [Rationing of fire hazard indicators and the permissibility of using construction, textile and leather materials] / V. V. Shumilin, A. M. Nezhdenko, A. A. Bobryshev [et al.]. *Vestnik Voronezhskogo instituta GPS MChS Rossii*, 2016, vol. 4 (21), pp. 17–21.

2. Spiridonova V. G., Tsirkina O. G. Analiz metodov ocenki ognezashchitnyh svoystv tekstil'nyh materialov Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij [Analysis of assessment methods

flame-retardant properties of textile materials]. *Tekhnologiya tekstil'noj promyshlennosti*, 2021, vol. 4 (394), pp. 75–81.

3. Novye podhody k ocenke pozharoопасnyh svoystv tekstil'nyh materialov [New approaches to assessing the fire-hazardous properties of textile materials] / A. L. Nikiforov, O. G. Tsirkina, S. N. Uleva [et al.]. *Setevoe izdanie «Pozharnaya i avarijnaya bezopasnost'»*, 2019, vol. 4 (15), pp. 11–18. URL: <http://pab.edu fire37.ru>

4. Primenenie razrabotannyh ekspress-metodik ocenki ognezashchitnyh svoystv tekstil'nyh materialov [Application of the developed express methods for evaluating the flame retardant properties of textile materials] / V. G. Spiridonova, O. G. Tsirkina, A. L. Nikiforov [et al.]. *Sovremennye problemy grazhdanskoj zashchity*, 2020, vol. 1 (34), pp. 77–84.

5. Obosnovanie aktual'nyh podhodov k ocenke pozharoопасnyh svoystv tekstil'nyh materialov i sposobov ognezashchity tkanej razlichnogo funkcional'nogo naznacheniya [Substantiation of relevant approaches to assessing the fire-hazardous properties of textile materials and methods of fire protection of fabrics of various functional purposes] / V. G. Spiridonova, D. V. Sorokin, A. L. Nikiforov [et al.]. *Sovremennye problemy grazhdanskoj zashchity*, 2023, vol. 2 (47), pp. 125–132.

6. *Sposoby i sredstva ognezashchity tekstil'nyh materialov. Rukovodstvo MChS Rossii. Vved. 2004-01-21* [Methods and means of fire protection of textile materials. The leadership of the Ministry of Emergency Situations of Russia. – Introduction. 2004-01-21]. Moscow: FGU VNIPO MChS Rossii, 2004.

7. Enaleev R. Sh., Krasina I. V., Sabirzyanova R. N. Pozharnaya opasnost' zazhiganiya tekstil'nyh materialov [Fire hazard of ignition of textile materials]. *Fundamental'nye issledovaniya*, 2015, vol. 2-1, pp. 18–22.

Салихова Аниса Хамидовна

Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,

Российская Федерация, г. Иваново

кандидат технических наук, доцент

E-mail: salina_77@mail.ru

Salikhova Anisa Khamidovna

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

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

and Elimination of Consequences of Natural Disasters»,

Russian Federation, Ivanovo

candidate of technical sciences, associate professor

E-mail: salina_77@mail.ru

Циркина Ольга Германовна

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

доктор технических наук, профессор, доцент

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, professor, associate professor

E-mail: ogtsirkina@mail.ru

Сырбу Светлана Александровна

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

доктор химических наук, профессор

E-mail: syrbue@yandex.ru

Syrbu Svetlana Alexandrovna

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

Russian Federation, Ivanovo

Doctor of Chemical Sciences, professor

E-mail: syrbue@yandex.ru

Колесникова Нина Николаевна

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

E-mail: nina.kuzmina.1992@mail.ru

Kolesnikova Nina 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

E-mail: nina.kuzmina.1992@mail.ru

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

УДК 66.018:620.1

**ПРОЧНОСТЬ И ТРЕЩИНОСТОЙКОСТЬ БЕТОНА
С ДОБАВКОЙ НА ОСНОВЕ СТЕАРАТА КАЛЬЦИЯ**

В. Е. РУМЯНЦЕВА^{1,2}, В. С. КОНОВАЛОВА², А. А. ГАЛЬЦЕВ³, К. Б. СТРОКИН³, Б. Е. НАРМАНИЯ⁴

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 Сахалинский государственный университет,
Российская Федерация, г. Южно-Сахалинск

⁴ ФГБОУ ВО Национальный исследовательский Московский государственный
строительный университет,
Российская Федерация, г. Москва

E-mail: varrym@gmail.com, kotprotiv@yandex.ru, galts.alexey@gmail.com,
strokin07@rambler.ru, borisfablee@gmail.com

В статье представлены результаты оценки прочностных характеристик, трещиностойкости и коррозионной стойкости бетона, изготовленного с комбинированной добавкой из стеарата кальция (0,5 масс. %), нитрата калия (0,5 масс. %) и наноразмерного оксида цинка (0,5 масс. %). Стеарат кальция вводится для объемной гидрофобизации бетона и формирования плотной структуры. Нитрат калия является ингибитором хлоридной коррозии. Наночастицы оксида цинка улучшают структуру бетона. Для проведения испытаний были изготовлены серии образцов бетона без добавок и с комбинированной добавкой. Прочность при сжатии определялась на бетонных образцах кубической формы с длиной грани 10 см. Для установления прочности сцепления арматуры с бетоном изготавливались цилиндрические образцы со стальными стержнями гладкого и периодического профилей. Предложенная комбинированная добавка увеличила прочность бетона при сжатии, усилила сцепление стальной арматуры с бетоном и повысила трещиностойкость бетона при механических нагрузках. Испытания на коррозионную стойкость бетонных образцов в 2 %-ом растворе $MgCl_2$, являющимся средой высокой степени агрессивности, показали меньшее изменение прочностных характеристик бетона и сохранение внешнего вида поверхности вследствие отсутствия трещин.

Ключевые слова: коррозия бетона, гидрофобный бетон, гидрофобная добавка, прочность бетона, трещиностойкость бетона, долговечность бетона, прочность сцепления.

**STRENGTH AND CRACK RESISTANCE OF CONCRETE
WITH AN ADDITIVE BASED ON CALCIUM STEARATE**

V. E. RUMYANTSEVA^{1,2}, V. S. KONOVALOVA², A. A. GAL'TSEV³, K. B. STROKIN³, B. E. NARMANIYA⁴

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 «Sakhalin State University»,
Russian Federation, Yuzhno-Sakhalinsk

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, kotprotiv@yandex.ru, galts.alexey@gmail.com,
strokin07@rambler.ru, borisfablee@gmail.com

The article presents the results of evaluating the strength characteristics, crack resistance and corrosion resistance of concrete made with a combined addition of calcium stearate (0.5 wt. %), potassium nitrate (0.5 wt. %) and nanoscale zinc oxide (0.5 wt. %). Calcium stearate is introduced for volumetric hydrophobization of concrete and formation of a dense structure. Potassium nitrate is an inhibitor of chloride corrosion. Zinc oxide nanoparticles improve the structure of concrete. For testing, a series of concrete samples were produced without additives and with a combined additive. Compressive strength was determined on concrete samples of cubic shape with a face length of 10 cm. To establish the adhesion strength of the reinforcement to concrete, cylindrical samples with steel rods of smooth and periodic profiles were made. The proposed combined additive increased the compressive strength of concrete, strengthened the adhesion of steel reinforcement to concrete and increased the crack resistance of concrete under mechanical loads. Corrosion resistance tests of concrete samples in 2 % $MgCl_2$ solution, which is a medium of a high degree of aggressiveness, showed a smaller change in the strength characteristics of concrete and preservation of the appearance of the surface due to the absence of cracks.

Keywords: concrete corrosion, hydrophobic concrete, hydrophobic additive, concrete strength, concrete crack resistance, concrete durability, adhesion strength.

Введение

Бетон был выбран в качестве одного из материалов для строительства конструкций, потому что он обладает высокой прочностью на сжатие, и этот параметр можно регулировать в соответствии с требованиями и условиями эксплуатации. Бетонная смесь очень легко поддается формованию, поэтому можно создавать изделия различной конфигурации.

Одним из основных недостатков бетона является его низкая прочность на растяжение [1-4], поэтому при проектировании конструкций, как правило, не учитывается влияние этой характеристики. Чтобы устранить это слабое место бетона, в зону натяжения необходимо вставить арматурную сталь, которая выдержит растягивающее усилие.

Бетон сегодня используется для строительства конструкций, находящихся не только в обычных условиях, но и в экстремально агрессивных средах. Бетон в сочетании с арматурной сталью должен обладать хорошими водостойкими свойствами. Если бетон не обладает водонепроницаемостью, то арматурная сталь в бетоне будет подвержена коррозии из-за проникновения воды и агрессивных веществ в бетон [5-10]. Коррозия арматуры в бетоне может привести к разрушению конструкции.

Одной из основных проблем бетонных конструкций является возникновение большого количества трещин на поверхности из-за усадки при высыхании бетона [11-15]. Через эти трещины в бетон проникают агрессивные к цементному камню и стальной арматуре вещества, действие которых вызывает масштабные повреждения [16-19]. Поэтому предотвращение образования трещин на поверхности бетона наряду с сохранением его основных механических свойств очень важно. Для предот-

вращения растрескивания поверхности бетона в цементную смесь вводят различные добавки [20-26]. Добавки на основе солей жирных кислот повышают прочность бетона на растяжение [27, 28], повышают прочность на сжатие [29-32] и снижают проницаемость вследствие образования гидрофобного слоя на поверхности пор [33-36].

Широкое применение бетона для различных типов конструкций привело к созданию нескольких видов инновационных бетонов, которые классифицируются в соответствии с их характеристиками. Учитывая, что микропоры на поверхности бетона пропускают воду, были разработаны различные стратегии предотвращения повреждений, наносимых водой. Если внутри испытываемого образца предусмотрена влагостойкость для компенсации такой проблемы, можно за счет этого предотвратить снижение долговечности бетона, даже если влага проникает снаружи. Кроме того, можно спрогнозировать продление срока службы конструкции и принять превентивные меры с учетом времени и затрат, необходимых для ремонта [37-39].

Некоторые исследователи [40-42] изучали использование стеарата кальция в качестве ингибитора коррозии бетона. Результаты показали, что он может защитить бетон от коррозии. Стеарат кальция также способен повышать водостойкость бетона [30, 34, 42-44]. Кроме того, необходимо изучить его влияние на прочность сцепления арматуры с бетоном с помощью испытаний на растяжение. Цель данного исследования – определить влияние использования добавки на основе стеарата кальция на прочность сцепления арматуры с бетоном и характер разрушения бетона.

Материалы и методы

Образцы бетона изготавливались из портландцемента марки ЦЕМ I 42,5 Н и гравийного щебня фракцией 5-10 мм. Водоцементное соотношение 0,3. На стадии замешивания цементного теста вводились стеарат кальция, нитрат калия и наночастицы оксида цинка в количестве 0,5 % от массы цемента каждого компонента. Размер частиц оксида цинка составлял 20–40 нм. Стеарат кальция и нитрат калия представляют собой белые мелкокристаллические порошки и дополнительно не измельчались. Использовались реагенты марки Имп. «Ч.».

Из бетонной смеси заливались кубы с гранью 10 см. Также в цилиндрической форме диаметром 10 см бетоном заливались прутки арматуры диаметром 10 мм и длиной 20 см, глубина заделки составляла 10 см. Арматурные стержни из стали марки Ст3 были сложного профиля (класс А500С) и гладкие (класс А1 (А240)). Образцы отверждались на воздухе при нормальных условиях в течение 28 суток.

$$K_c^* = \frac{F_c^*}{b^{1/2}t} (1,83\lambda^{1/2} - 430\lambda^{3/2} + 3445\lambda^{5/2} - 11076\lambda^{7/2} + 12967\lambda^{9/2}), \quad (1)$$

где: F_c – разрушающая нагрузка, МН; b – ширина образца, м; t – высота образца, м; $\lambda = \frac{a_0 + a_{0t}}{b}$ – относительная длина начального надреза; a_0, a_{0t} – длины начальных надрезов, м (принимаются равными 0,025 м).

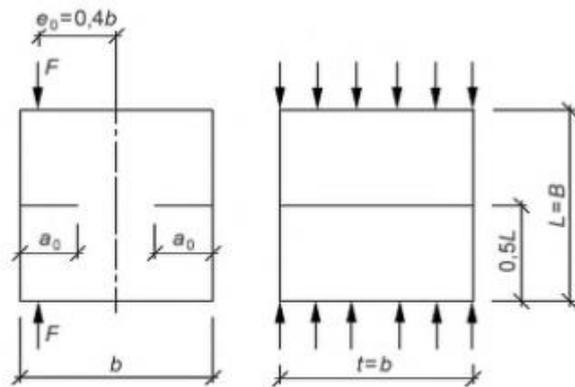


Рис. 1. Схема образца для испытаний на внецентренное сжатие

Группы образцов для каждого вида испытаний состояли из 10 штук без добавок и 10 штук с добавками.

Для установления коррозионной стойкости бетона образцы погружались на 6 месяцев в 2 %-ый раствор $MgCl_2$.

Образцы кубической формы подвергались испытанию на определение прочности при сжатии с помощью гидравлического прессы. На образцах цилиндрической формы исследовалось сцепление арматуры с бетоном. Результаты усреднялись по минимум 5 не отличающимся друг от друга на 5 % значениям.

Определение трещиностойкости проводилось по ГОСТ 29167-2021 «Методы определения характеристик трещиностойкости (вязкости разрушения) при статическом нагружении» на кубических образцах (рис. 1). Характеристики трещиностойкости K_c^* по результатам неравновесных испытаний образцов бетона рассчитывали по выражению:

Результаты и обсуждение

Из данных табл. 1 видно, что в результате введения добавок на стадии изготовления образцов прочность при сжатии бетона повышается на 28 %. Ранее было установлено, что нитраты активных металлов не оказывают влияния на прочностные характеристики цементного камня бетона, а является ингибитором хлоридной коррозии [45, 46]. Объемная гидрофобизация цементного камня стеаратом кальция приводит к уменьшению пористости, изменению структурно-фазового состава и повышению прочности [31, 39, 47]. Оксид цинка известен фунгицидным действием [48, 49], также улучшает структурообразование при твердении и повышает механическую прочность бетона [50–52]. Таким образом, можно сделать вывод, что в основном повышение прочности на сжатие обусловлено добавкой стеарата кальция.

Таблица 1. Влияние добавки на основе стеарата кальция на прочность бетона при сжатии, Мпа

| Образец без добавок | | Образец с добавками | |
|----------------------------------|-------------------------------------|----------------------------------|-------------------------------------|
| До воздействия агрессивной среды | После воздействия агрессивной среды | До воздействия агрессивной среды | После воздействия агрессивной среды |
| 28,5 | 24,7 | 36,6 | 34,3 |

Под воздействием агрессивной хлоридсодержащей среды в течение 6 месяцев прочность при сжатии образцов без добавки уменьшилась на 13 %, образцов с добавкой – на 6 %. Введенные реагенты снижают степень коррозионного воздействия жидких сред благодаря гидрофобному действию стеарата кальция, ингибирующему эффекту нитрата калия и формированию более плотной структуры бетона.

В табл. 2 приведены результаты испытаний по вырыванию прутков стальной арматуры из бетона. После введение комбинированной добавки прочность сцепления обоих видов арматуры с бетоном повысилась примерно на 40 %. Прочность сцепления арматуры с бетоном, содержащим добавки, выше, и после воздействия хлорида магния снижается

на 14 % у образца с гладкими стержнями арматуры, на 3 % у образца с арматурой периодического профиля. Для образцов без добавок прочность сцепления стальной арматуры с бетоном уменьшилась на 20 и 5,5 %, соответственно.

Испытание образцов бетона на трещиностойкость показало, что введение комплексной добавки улучшает стойкость бетона к расщеплению при нагрузках, также в меньшей степени снижается значение характеристики трещиностойкости под воздействием агрессивных жидких сред (табл. 3). Уменьшение трещинообразования связано не только с повышением прочностных характеристик бетона с добавками, но и с образованием более плотной структуры вследствие кольматации пор гидрофобизатором стеаратом кальция [53].

Таблица 2. Влияние добавки на основе стеарата кальция на сцепление стальной арматуры с бетоном, Мпа

| Вид арматуры | Образец без добавок | | Образец с добавками | |
|-----------------------|----------------------------------|-------------------------------------|----------------------------------|-------------------------------------|
| | До воздействия агрессивной среды | После воздействия агрессивной среды | До воздействия агрессивной среды | После воздействия агрессивной среды |
| Гладкий профиль | 2 | 1,6 | 2,8 | 2,4 |
| Периодический профиль | 7,1 | 6,7 | 10,6 | 10,3 |

Таблица 3. Влияние добавки на основе стеарата кальция на величину условного критического коэффициента интенсивности напряжений K^* , МПа·м^{0,5}, при испытании бетона на трещиностойкость

| Образец без добавок | | Образец с добавками | |
|----------------------------------|-------------------------------------|----------------------------------|-------------------------------------|
| До воздействия агрессивной среды | После воздействия агрессивной среды | До воздействия агрессивной среды | После воздействия агрессивной среды |
| 0,53 | 0,47 | 0,66 | 0,64 |

Оценка состояния поверхности бетона (рис. 2) после 6 месяцев воздействия 2 %-ого раствора $MgCl_2$, который является по отношению к цементному бетону средой высокой степени агрессивности, показала отсутствие повреждения поверхностного слоя на образцах с добавками. В то время как под воздействием

агрессивной хлоридной среды на бетон без добавок его поверхность покрылась мелкими трещинами. Образование кристаллов соли на поверхности бетона с добавками очевидно связано с гидрофобным действием стеарата кальция, препятствующим проникновению жидкости в поровую структуру.

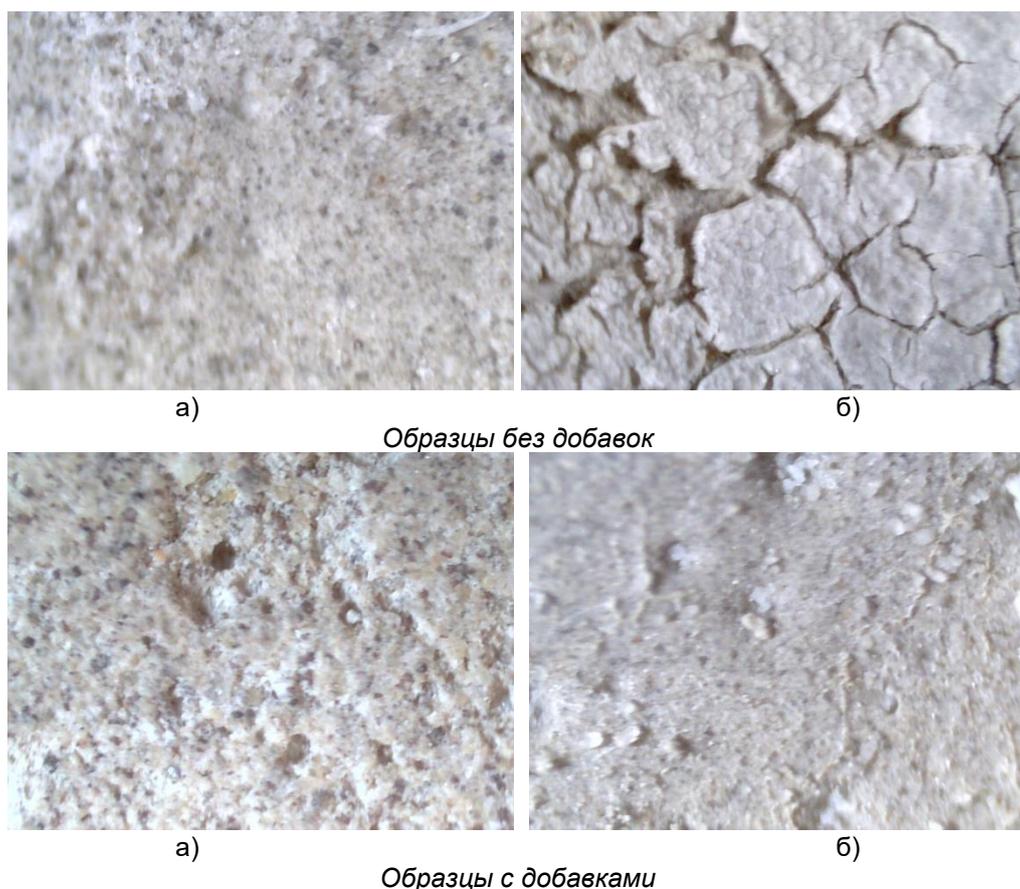


Рис. 2. Состояние поверхности бетонных образцов при увеличении в 10 раз (а) до и (б) после 6 месяцев воздействия 2 %-ого раствора $MgCl_2$

Заключение

Введением комбинированной добавки из стеарата кальция, нитрата калия и наночастиц оксида цинка можно повысить прочностные характеристики бетона и его коррозионную стойкость. Добавка на основе стеарата кальция положительно сказывается на сцеплении арматуры с бетоном. Компоненты добавки эффективно препятствуют растрескиванию поверхности под воздействием агрессив-

ных сред и снижают трещинообразование в бетоне при механических нагрузках.

Добавки стеарата кальция, нитрата калия и наноразмерного оксида цинка, вводимые в цементную смесь при изготовлении бетона, в количестве 0,5 % от массы цемента обеспечивают формирование улучшенных эксплуатационных характеристик и повышенной стойкости к жидкостной коррозии.

Список литературы

1. Батяновский Э. И. Технология бетонных и железобетонных изделий. Минск: Высшая школа, 2017. 305 с.
2. Баженов Ю. М. Технология бетона. М.: Изд-во АСВ, 2011. 528 с.
3. Neville A. M., Brooks J. J. Concrete Technology. 2nd edition. Pearson Education, Canada, 2010. 464 p.
4. Wight J. K. Reinforced Concrete: Mechanics and Design. 8th edition. Pearson, 2021. 1176 p.

5. Алексеев С. Н. Коррозия и защита арматуры в бетоне. М.: Стройиздат, 1968. 231 с.

6. Steel rebar corrosion and corrosion-induced cracking in reinforced foamed concrete / Y. Luo, Q. Zhu, D. Chen [et al.]. *Frontiers in Materials*, 2022, vol. 9. Article no. 1054662. <https://doi.org/10.3389/fmats.2022.1054662>

7. Розенталь Н. К., Чехний Г. В. Проблемы хлоридной коррозии стальной арматуры // Вестник НИЦ «Строительство». 2022. Т. 35. № 4. С. 174–185. [https://doi.org/10.37538/2224-9494-2022-4\(35\)-174-185](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2022-4(35)-174-185)

8. Дронов А. В. Особенности развития питтинговой коррозии стальной арматуры железобетонных изгибаемых элементов // Вестник БГТУ им. Шухова. 2017. № 3. С. 32–36. <https://doi.org/10.12737/24678>
9. Paul S. C., Babafemi A. J. A Review on Reinforcement Corrosion Mechanism and Measurement Methods in Concrete. *Civil Engineering Research Journal*, 2018, vol. 5, issue 3. Article no. 555661. <https://doi.org/10.19080/CERJ.2018.05.555661>
10. Khan M. U., Ahmad S., Al-Gahtani H. J. Chloride-Induced Corrosion of Steel in Concrete: An Overview on Chloride Diffusion and Prediction of Corrosion Initiation Time. *International Journal of Corrosion*, 2017, vol. 2017. Article ID 5819202. <https://doi.org/10.1155/2017/5819202>
11. Романенко И. И., Пинт Э. М., Романенко М. И. Деформации цементного камня приводящие к образованию поверхностных трещин // Вестник БГТУ им. Шухова. 2012. № 4. С. 32–36.
12. Калиновская Н. Н., Котов Д. С., Щербицкая Е. В. Усадочные деформации модифицированного бетона. Причины и способы устранения // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия F. Строительство. Прикладные науки. 2018. № 8. С. 82–87.
13. Усадочные деформации строительных материалов и пути их снижения / В. К. Козлова, Е. В. Божок, В. В. Логвиненко [и др.] Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2018. Т. 20. № 5. С. 140–155. <https://doi.org/10.31675/1607-1859-2018-20-5-140-155>
14. Early-Age Cracking in Concrete: Causes, Consequences, Remedial Measures, and Recommendations / M. Safiuddin, A. B. M. A. Kaish, C.-O. Woon [et al.]. *Applied Sciences*, 2018, vol. 8, issue 10. Article no. 1730. <https://doi.org/10.3390/app8101730>
15. Raj Kiran Nanduri P. M. B. A Critical Review on Early-Age Cracking in Concrete. *International Journal of Civil Engineering and Technology*, 2020, vol. 11, issue 12, pp. 74–83. <https://doi.org/10.34218/IJCIET.11.12.2020.006>
16. Shaikh F. U. A. Effect of Cracking on Corrosion of Steel in Concrete. *International Journal of Concrete Structures and Materials*, 2018, vol. 12. Article no. 3. <https://doi.org/10.1186/s40069-018-0234-y>
17. Мигунов В. Н., Овчинников И. Г., Шамшина К. В. Влияние жидких хлоридсодержащих сред и переменной эксплуатационной нагрузки на деформационные свойства железобетонных элементов и характеристики коррозионного поражения арматуры в расчётных поперечных трещинах бетона // Интернет-журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ». 2015. Т. 7. № 6. Article ID 11KO615. <https://doi.org/10.15862/11KO615>
18. Cao J., Liu L., Zhao S. Relationship between Corrosion of Reinforcement and Surface Cracking Width in Concrete. *Advances in Civil Engineering*, 2020, vol. 2020. Article ID 7936861. <https://doi.org/10.1155/2020/7936861>
19. A review on the effects of cracking and crack width on corrosion of reinforcement in concrete / F. Kanavaris, M. Coelho, N. Ferreira [et al.]. *Structural Concrete*, 2023, vol. 24, issue 6, pp. 7272–7294. <https://doi.org/10.1002/suco.202300227>
20. Исследование трещиностойкости бетонов нового поколения / В. И. Травуш, Н. И. Карпенко, В. Т. Ерофеев [и др.] // Строительные материалы. 2019. № 10. С. 3-11. <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2019-775-10-3-11>
21. Белов В. В., Куляев П. В. Принципы проектирования мелкозернистых карбонатных бетонов повышенной трещиностойкости // Строительные материалы. 2017. № 7. С. 44–47.
22. Perfilov V. A. Strength and crack-resistance of concrete with fibre fillers and modifying nano-additives. *Magazine of Civil Engineering*, 2023, vol. 119 (3). Article no. 11909. <https://doi.org/10.34910/MCE.119.9>
23. Troyan V., Kindras B. Increasing the Crack Resistance of High-Strength Self-compacting Concrete. *Technology audit and production reserves*, 2021, vol. 1/1 (57), pp. 17–24. <https://doi.org/10.15587/2706-5448.2021.225500>
24. Effect of calcium stearate and aluminum powder on free and restrained drying shrinkage, crack characteristic and mechanical properties of concrete / F. Azarhomayun, M. Haji, M. Kioumars [et al.]. *Cement and Concrete Composites*, 2022, vol. 125. Article no. 104276 <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2021.104276>
25. Influence of steel slag type on concrete shrinkage / M. D. Rubio-Cintas, M. E. Parron-Rubio, F. Perez-Garcia [et al.]. *Sustainability*, 2020, vol. 13. Article no. 214. <https://doi.org/10.3390/su13010214>
26. Tafesse M., Kim H.-K. The role of carbon nanotube on hydration kinetics and shrinkage of cement composite. *Composites Part B: Engineering*, 2019, vol. 169, pp. 55–64. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2019.04.004>
27. Nemati M., Ramin C., Mohammad N. The impact of calcium stearate on characteristics of concrete. *Asian Journal of Civil Engineering*, 2019, vol. 20, pp. 1007-1020. <https://doi.org/10.1007/s42107-019-00161-x>
28. Complex modified additive for concrete based on industrial waste / R. E. Lukpanov, D. S. Dyusseminov, D. V. Tsygulyov [et al.]. *Magazine of Civil Engineering*, 2022, vol. 115 (7).

Article no. 11507. <https://doi.org/10.34910/MCE.115.7>

29. Park J.-H., Yoon C.-B. Properties and Durability of Cement Mortar Using Calcium Stearate and Natural Pozzolan for Concrete Surface Treatment. *Materials*, 2022, vol. 15, issue 16. Article no. 5762. <https://doi.org/10.3390/ma15165762>

30. Effect of calcium stearate in the mechanical and physical properties of concrete with PCC and fly ash as binders / A. Maryoto, B. Sthenly Gan, N. Intang Setyo Hermanto [et al.]. *Materials*, 2020, vol. 13, issue 6. Article no. 1394. <https://doi.org/10.3390/ma13061394>

31. The role of colmatation in liquid corrosion of hydrophobized concrete / S. V. Fedosov, V. E. Rumyantseva, V. S. Konovalova [et al.]. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2020, vol. 896. Article no. 012096. <http://dx.doi.org/10.1088/1757-899X/896/1/012096>

32. Investigation of the effects of fatty acids on the compressive strength of the concrete and the grindability of the cement / A. T. Albayrak, M. Yasar, M. A. Gurkaynak [et al.]. *Cement and Concrete Research*, 2005, vol. 35, issue 2, pp. 400–404. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2004.07.031>

33. Effect of fatty acid soap on microstructure of lime-cement mortar / A. Lagazzo, S. Vicini, C. Cattaneo [et al.]. *Construction and Building Materials*, 2016, vol. 116, pp. 384–390. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.04.122>

34. Скорость проникновения хлорид-ионов к поверхности стальной арматуры в гидрофобизированных бетонах / С. В. Федосов, В. Е. Румянцева, В. С. Коновалова [и др.] // *Современные наукоёмкие технологии. Региональное приложение*. 2019. Т. 56. № 4. С. 93–99.

35. Pore Structure and Permeability of Cementitious Materials Containing a Carboxylic Acid Type Hydrophobic Agent / H. Zhang, Y. Zhou, S. Mu [et al.]. *Frontiers in Materials*, 2022, vol. 9. Article no. 907638. <https://doi.org/10.3389/fmats.2022.907638>

36. Kushartomo W., Prabowo A. The Application of Sodium Acetate as Concrete Permeability-Reducing Admixtures. *IOP Conference Series Materials Science and Engineering*, 2019, vol. 508. Article no. 012009. <http://dx.doi.org/10.1088/1757-899X/508/1/012009>

37. Yoon C. B., Kim W. S., Lee H. S. An experimental study on the effect of the mixing of water-repellent impregnated natural zeolite on the resistance chloride penetration and microstructure of cement mortar. *Journal of the Architectural Institute of Korea*, 2020, vol. 36, issue 10, pp. 207–213. <https://doi.org/10.5659/JAIK.2020.36.10.207>

38. Shim H. B., Lee M. S. An Experimental Study on Water Resistance of Penetrating Water Repellency of Emulsified Silicon Type Exposed to The Outdoor Environment. *Journal of the Korea*

Concrete Institute, 2004, vol. 16, issue 4, pp. 477–484. <http://dx.doi.org/10.4334/JKCI.2004.16.4.477>

39. Федосов С. В., Румянцева В. Е., Красильников И. В., Коновалова В. С., Каравеев И. В. Определение ресурса безопасной эксплуатации конструкций из бетона, содержащего гидрофобизирующие добавки // *Известия вузов. Технология текстильной промышленности*. 2017. № 6 (372). С. 268–276.

40. Nematı Chari M., Naseroleslami R., Shekarchi M. The impact of calcium stearate on characteristics of concrete. *Asian Journal of Civil Engineering*, 2019, vol. 20, pp. 1–14. <https://doi.org/10.1007/s42107-019-00161-x>

41. Calcium stearate: A green corrosion inhibitor for steel in concrete environment / M. A. Quraishi, V. Kumar, P. P. Abhilash [et al.]. *Journal of Material and Environmental Science*, 2011, vol. 2, pp. 365–372.

42. Водостойкий мелкозернистый бетон, гидрофобизированный наночастицами стеарата кальция / М. Н. Мороз, В. И. Калашников, В. А. Худяков [и др.] // *Строительные материалы*. 2009. № 8. С. 55–57.

43. The effect of nano-scale calcium stearate emulsion on the integral waterproof performance and chloride resistance of cement mortar / S. Wu, C. Zhang, F. Zhou [et al.]. *Construction and Building Materials*, 2022, vol. 317. Article no. 125903. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.125903>

44. Повышение эффективности мелкозернистого бетона комплексной микродисперсной добавкой / В. Я. Гегерь, Н. П. Лукутцова, Е. Г. Карпиков [и др.] // *Вестник БГТУ им. В. Г. Шухова*. 2013. № 3. С. 15–18.

45. Влияние добавок нитратов на интенсивность массообменных коррозионных процессов в цементном камне бетона при хлоридной коррозии / В. Е. Румянцева, В. С. Коновалова, Б. Е. Нармания [и др.] // *Современные проблемы гражданской защиты*. 2023. № 3 (48). С. 148–157.

46. Румянцева В. Е., Коновалова В. С., Нармания Б. Е. Влияние ингибирующих добавок нитратов на степень повреждения цементного камня бетона при жидкостной коррозии в хлоридсодержащих средах // *Эксперт: теория и практика*. 2022. № 4 (19). С. 60–66. https://doi.org/10.51608/26867818_2022_4_60

47. Коновалова В. С. Взаимосвязь изменений структурно-фазового состава и прочности гидрофобизированного бетона при воздействии хлоридсодержащей среды // *Умные композиты в строительстве*. 2022. Т. 3. № 3. С. 41–55. https://doi.org/10.52957/278219192022_3_41

48. Review on Zinc Oxide Nanoparticles: Antibacterial Activity and Toxicity Mechanism / A. Sirelkhathim, S. Mahmud, A. Seenı [et al.].

Nano-Micro Letters, 2015, vol. 7, pp. 219–242. <https://doi.org/10.1007/s40820-015-0040-x>

49. Изучение антимикробной активности наночастицы серебра и оксида цинка на целлюлозном носителе / З. Т. Хамраева, Т. Э. Шонахунов, З. Р. Ахмедова [и др.] // *Universum: химия и биология: электрон. научн. журн.* 2023. № 9 (111). <https://doi.org/10.32743/UniChem.2023.111.9.15858>

50. Arefi M. R., Rezaei-Zarchi S. Synthesis of Zinc Oxide Nanoparticles and Their Effect on the Compressive Strength and Setting Time of Self-Compacted Concrete Paste as Cementitious Composites. *International Journal of Molecular Sciences*, 2012, vol. 13, issue 4, pp. 4340–4350. <http://dx.doi.org/10.3390/ijms13044340>

51. Silatikunsatid T., Jaitanong N., Narksitipan S. A Study on Influence of Zinc Oxide in Cement Composite Materials. *Key Engineering Materials*, 2018, vol. 772, pp. 95–99. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/KEM.772.95>

52. Влияние оксида цинка на клинкерообразование / Ю. Р. Кривобородов, С. В. Самченко, В. П. Рязин [и др.] // *Цемент и его применение.* 2014. № 6. С. 80–83.

53. Konovalova V. S. Investigation of the Effect of Volumetric Hydrophobization on the Kinetics of Mass Transfer Processes Occurring in Cement Concretes during Corrosion. *Materials*, 2023, vol. 16, issue 10. Article no. 3827. <https://doi.org/10.3390/ma16103827>

References

1. Batyanovskij E. I. *Tekhnologiya betonnyh i zhelezobetonnyh izdelij* [Technology of concrete and reinforced concrete products]. Minsk: Vysshaya shkola, 2017. 305 p.

2. Bazhenov Yu. M. *Tekhnologiya betona* [Concrete technology]. Moscow: ASV, 2011. 528 p.

3. Neville A. M., Brooks J. J. *Concrete Technology*. 2nd edition. Pearson Education, Canada, 2010. 464 p.

4. Wight J. K. *Reinforced Concrete: Mechanics and Design*. 8th edition. Pearson, 2021. 1176 p.

5. Alekseev S. N. *Korroziya i zashchita armatury v betone* [Corrosion and protection of reinforcement in concrete]. Moscow: Stroyizdat, 1968. 231 p.

6. Steel rebar corrosion and corrosion-induced cracking in reinforced foamed concrete / Y. Luo, Q. Zhu, D. Chen [et al.]. *Frontiers in Materials*, 2022, vol. 9. Article no. 1054662. <https://doi.org/10.3389/fmats.2022.1054662>

7. Rozental N. K., Chekhni G. V. Problemy hloridnoj korrozii stal'noj armatury [Chloride corrosion of reinforcing steel]. *Vestnik NITS «Stroitel'stvo»*, 2022, Vol. 35, issue 4, pp. 174–

185. [https://doi.org/10.37538/2224-9494-2022-4\(35\)-174-185](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2022-4(35)-174-185)

8. Dronov A. V. Osobennosti razvitiya pittingovoj korrozii stal'noj armatury zhelezobetonnyh izgibaemyh elementov [The properties of pitting corrosion of steel reinforcement of reinforced concrete beams]. *Vestnik BGTU im. Shukhova*, 2017, issue 3, pp. 32–36. <https://doi.org/10.12737/24678>

9. Paul S. C., Babafemi A. J. A Review on Reinforcement Corrosion Mechanism and Measurement Methods in Concrete. *Civil Engineering Research Journal*, 2018, vol. 5, issue 3. Article no. 555661. <https://doi.org/10.19080/CERJ.2018.05.555661>

10. Khan M. U., Ahmad S., Al-Gahtani H. J. Chloride-Induced Corrosion of Steel in Concrete: An Overview on Chloride Diffusion and Prediction of Corrosion Initiation Time. *International Journal of Corrosion*, 2017, vol. 2017. Article ID 5819202. <https://doi.org/10.1155/2017/5819202>

11. Romanenko I. I., Pint E. M., Romanenko M. I. Deformacii cementnogo kamnya privodiyashchie k obrazovaniyu poverhnostnyh treshchin [Deformations of cement stone leading to the formation of surface cracks]. *Vestnik BGTU im. Shukhova*, 2012, issue 4, pp. 32–36.

12. Kalinouskaya N. N., Kotov D. S., Shcharbitskaya E. V. Usadochnye deformacii modifitsirovannogo betona. Prichiny i sposoby ustraneniya [Shrinkage deformations of modified concrete. causes and remedies]. *Vestnik Polotskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya F. Stroitel'stvo. Prikladnyye nauki*, 2018, issue 8, pp. 82–87.

13. Usadochnye deformacii stroitel'nyh materialov i puti ih snizheniya [Shrinking deformation of building materials and methods of its reduction] / V. K. Kozlova, E. V. Bozhok, V. V. Logvinenko [et al.]. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta*, 2018, vol. 20, issue 5, pp. 140–155. <https://doi.org/10.31675/1607-1859-2018-20-5-140-155>

14. Early-Age Cracking in Concrete: Causes, Consequences, Remedial Measures, and Recommendations / M. Safiuddin, A. B. M. A. Kaish, C.-O. Woon [et al.]. *Applied Sciences*, 2018, vol. 8, issue 10. Article no. 1730. <https://doi.org/10.3390/app8101730>

15. Raj Kiran Nanduri P. M. B. A Critical Review on Early-Age Cracking in Concrete. *International Journal of Civil Engineering and Technology*, 2020, vol. 11, issue 12, pp. 74–83. <https://doi.org/10.34218/IJCET.11.12.2020.006>

16. Shaikh F. U. A. Effect of Cracking on Corrosion of Steel in Concrete. *International Journal of Concrete Structures and Materials*, 2018,

vol. 12. Article no. 3. <https://doi.org/10.1186/s40069-018-0234-y>

17. Migunov V. N., Ovchinnikov I. G., Shamshina K. V. Vliyaniye zhidkih hlorid-soderzhashchih sred i peremennoj ekspluatatsionnoj nagruzki na deformatsionnye svoystva zhelezobetonnyh elementov i harakteristiki korrozionnogo porazheniya armatury v raschyotnyh poperechnykh treshchinah betona [Effect of liquid chlorine-containing environments and variable operating load on the deformation properties of concrete elements and characteristics of corrosion damage fittings in the design of transverse cracks in concrete]. *Internet-zhurnal «NAUKOVEDENIE»*, 2015, vol. 7, issue 6. Article ID 11KO615. <https://doi.org/10.15862/11KO615>

18. Cao J., Liu L., Zhao S. Relationship between Corrosion of Reinforcement and Surface Cracking Width in Concrete. *Advances in Civil Engineering*, 2020, vol. 2020. Article ID 7936861. <https://doi.org/10.1155/2020/7936861>

19. A review on the effects of cracking and crack width on corrosion of reinforcement in concrete / F. Kanavaris, M. Coelho, N. Ferreira [et al.]. *Structural Concrete*, 2023, vol. 24, issue 6, pp. 7272–7294. <https://doi.org/10.1002/suco.202300227>

20. Issledovanie treshchinostojkosti betonov novogo pokoleniya [The study of crack resistance of concretes of a new generation] / V. I. Travush, N. I. Karpenko, V. T. Erofeev [et al.]. *Stroitel'nye Materialy*, 2019, issue 10. pp. 3–11. <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2019-775-10-3-11>

21. Belov V. V., Kulyaev P. V. Principy proektirovaniya melkozernistykh karbonatnykh betonov povyshennoj treshchinostojkosti [Principles of design of fine carbonate concretes with improved crack-resistance]. *Stroitel'nye Materialy*, 2017, issue 7, pp. 44–47.

22. Perfilov V. A. Strength and crack-resistance of concrete with fibre fillers and modifying nano-additives. *Magazine of Civil Engineering*, 2023, vol. 119 (3). Article no. 11909. <https://doi.org/10.34910/MCE.119.9>

23. Troyan V., Kindras B. Increasing the Crack Resistance of High-Strength Self-compacting Concrete. *Technology audit and production reserves*, 2021, vol. 1/1 (57), pp. 17–24. <https://doi.org/10.15587/2706-5448.2021.225500>

24. Effect of calcium stearate and aluminum powder on free and restrained drying shrinkage, crack characteristic and mechanical properties of concrete / F. Azarhomayun, M. Haji, M. Kioumarsji [et al.]. *Cement and Concrete Composites*, 2022, vol. 125. Article no. 104276 <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2021.104276>

25. Influence of steel slag type on concrete shrinkage / M. D. Rubio-Cintas, M. E. Paron-Rubio, F. Perez-Garcia [et al.]. *Sustainability*,

2020, vol. 13. Article no. 214. <https://doi.org/10.3390/su13010214>

26. Tafesse M., Kim H.-K. The role of carbon nanotube on hydration kinetics and shrinkage of cement composite. *Composites Part B: Engineering*, 2019, vol. 169, pp. 55–64. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2019.04.004>

27. Nemati M., Ramin C., Mohammad N. The impact of calcium stearate on characteristics of concrete. *Asian Journal of Civil Engineering*, 2019, vol. 20, pp. 1007–1020. <https://doi.org/10.1007/s42107-019-00161-x>

28. Complex modified additive for concrete based on industrial waste / R. E. Lukpanov, D. S. Dyusseminov, D. V. Tsygulyov [et al.]. *Magazine of Civil Engineering*, 2022, vol. 115 (7). Article no. 11507. <https://doi.org/10.34910/MCE.115.7>

29. Park J.-H., Yoon C.-B. Properties and Durability of Cement Mortar Using Calcium Stearate and Natural Pozzolan for Concrete Surface Treatment. *Materials*, 2022, vol. 15, issue 16. Article no. 5762. <https://doi.org/10.3390/ma15165762>

30. Effect of calcium stearate in the mechanical and physical properties of concrete with PCC and fly ash as binders / A. Maryoto, B. Sthenly Gan, N. Intang Setyo Hermanto [et al.]. *Materials*, 2020, vol. 13, issue 6. Article no. 1394. <https://doi.org/10.3390/ma13061394>

31. The role of colmatation in liquid corrosion of hydrophobized concrete / S. V. Fedosov, V. E. Romyantseva, V. S. Konovalova [et al.]. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2020, vol. 896. Article no. 012096. <http://dx.doi.org/10.1088/1757-99X/896/1/012096>

32. Investigation of the effects of fatty acids on the compressive strength of the concrete and the grindability of the cement / A. T. Albayrak, M. Yasar, M. A. Gurkaynak [et al.]. *Cement and Concrete Research*, 2005, vol. 35, issue 2, pp. 400–404. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2004.07.031>

33. Effect of fatty acid soap on microstructure of lime-cement mortar / A. Lagazzo, S. Vicini, C. Cattaneo [et al.]. *Construction and Building Materials*, 2016, vol. 116, pp. 384–390. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.04.122>

34. Skorost' proniknoveniya hlorid-ionov k poverhnosti stal'noj armatury v gidrofobizirovannykh betonah [Rate of penetration of chloride ions to the surface of steel reinforcement in hydrophobized concretes] / S. V. Fedosov, V. E. Romyantseva, S. V. Konovalova [et al.]. *Sovremennyye naukoemkie tekhnologii. Regional'noe prilozhenie*, 2018, vol. 4 (56), pp. 93–99.

35. Pore Structure and Permeability of Cementitious Materials Containing a Carboxylic Acid Type Hydrophobic Agent / H. Zhang, Y. Zhou, S. Mu [et al.]. *Frontiers in Materials*,

2022, vol. 9. Article no. 907638. <https://doi.org/10.3389/fmats.2022.907638>

36. Kushartomo W., Prabowo A. The Application of Sodium Acetate as Concrete Permeability-Reducing Admixtures. IOP Conference Series Materials Science and Engineering, 2019, vol. 508. Article no. 012009. <http://dx.doi.org/10.1088/1757-99X/508/1/012009>

37. Yoon C. B., Kim W. S., Lee H. S. An experimental study on the effect of the mixing of water-repellent impregnated natural zeolite on the re-sistance chloride penetration and microstructure of cement mortar. Journal of the Architectural Institute of Korea, 2020, vol. 36, issue 10, pp. 207–213. <https://doi.org/10.5659/JAIK.2020.36.10.207>

38. Shim H. B., Lee M. S. An Experimental Study on Water Resistance of Penetrating Water Repellency of Emulsified Silicon Type Exposed to The Outdoor Environment. Journal of the Korea Concrete Institute, 2004, vol. 16, issue 4, pp. 477–484. <http://dx.doi.org/10.4334/JKCI.2004.16.4.477>

39. Opredelenie resursa bezopasnoj ekspluatatsii konstrukcij iz betona, sodержashchego gidrofobiziruyushchie dobavki [Determination of safe service life of structures made of concrete containing hydrophobic additives] / S. V. Fedosov, V. E. Rummyantseva, I. V. Krasilnikov [et al.]. *Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Tekhnologiya tekstil'noj promyshlennosti*, 2017, vol. 6 (372), pp. 268–276.

40. Nemati Chari M., Naseroleslami R., Shekarchi M. The impact of calcium stearate on characteristics of concrete. Asian Journal of Civil Engineering, 2019, vol. 20, pp. 1–14. <https://doi.org/10.1007/s42107-019-00161-x>

41. Calcium stearate: A green corrosion inhibitor for steel in concrete environment / M. A. Quraishi, V. Kumar, P. P. Abhilash [et al.]. Journal of Material and Environmental Science, 2011, vol. 2, pp. 365–372.

42. Vodostojkij melkozernistyj beton, gidrofobizirovannyj nanochasticami stearata kal'ciya [Water-resistant fine-grained concrete, hydrophobized by calcium stearate nanoparticles] / M. N. Moroz, V. I. Kalashnikov, V. A. Khudyakov [et al.]. *Stroitel'nye Materialy*, 2009, issue 8, pp. 55–57.

43. The effect of nano-scale calcium stearate emulsion on the integral waterproof performance and chloride resistance of cement mortar / S. Wu, C. Zhang, F. Zhou [et al.]. Construction and Building Materials, 2022, vol. 317. Article no. 125903. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.125903>

44. Povysheniye effektivnosti melkozernistogo betona kompleksnoy mikrodispersnoy dobavkoy [Improving the efficiency of fine-grained concrete with a complex micro-dispersed additive]

/ V. Ya. Geger, N. P. Lukutsova, E. G. Karpikov [et al.]. *Vestnik BGTU im. V. G. Shukhova*, 2013, issue 3, pp.15–18.

45. Vliyanie dobavok nitratov na intensivnost' massoobmennykh korroziennykh processov v cementnom kamne betona pri hlорidnoj korrozii [The effect of nitrate additives on the intensity of mass transfer corrosion processes in concrete cement stone during chloride] / V. E. Rummyantseva, V. S. Konovalova, B. E. Narmaniya [et al.]. *Sovremennyye problemy grazhdanskoy zashchity*, 2023, vol. 3 (48), pp. 148–157.

46. Rummyantseva V. E., Konovalova V. S., Narmaniya B. E. Vliyanie ingibiruyushchih dobavok nitratov na stepen' povrezhdeniya cementnogo kamnya betona pri zhidkostnoj korrozii v hlорidsoderzhashchih sredah [The effect of inhibitory additives of nitrates on the concrete cement stone damage during liquid corrosion in chloride-containing environments]. *Ekspert: teoriya i praktika*, 2022, vol. 4 (19), pp. 60–66. https://doi.org/10.51608/26867818_2022_4_60

47. Konovalova V. S. Vzaimosvyaz' izmenenij strukturno-fazovogo sostava i prochnosti gidrofobizirovannogo betona pri vozdeystvii hlорid-soderzhashchey sredy [The relationship of changes in the structural-phase composition and strength of hydrophobized concrete under the influence of a chloride-containing medium]. *Umnyye kompozity v stroitel'stve*, 2022, vol. 3, issue 3, pp. 41–55. https://doi.org/10.52957/27821919_2022_3_41

48. Review on Zinc Oxide Nanoparticles: Antibacterial Activity and Toxicity Mechanism / A. Sirelkhatim, S. Mahmud, A. Seeni [et al.]. Nano-Micro Letters, 2015, vol. 7, pp. 219–242. <https://doi.org/10.1007/s40820-015-0040-x>

49. Izuchenie antimikrobnoy aktivnosti nanochasticy serebra i oksida cinka na cellyuloznom nositele [Study of the antimicrobial activity of silver and zinc oxide nanoparticles on the cellulose carrier] / Z. T. Khamrayeva, T. E. Shonahunov, Z. R. Akhmedova [et al.]. *Universum: himiya i biologiya*, 2023, vol. 9 (111). <https://doi.org/10.32743/UniChem.2023.111.9.15858>

50. Arefi M. R., Rezaei-Zarchi S. Synthesis of Zinc Oxide Nanoparticles and Their Effect on the Compressive Strength and Setting Time of Self-Compacted Concrete Paste as Cementitious Composites. International Journal of Molecular Sciences, 2012, vol. 13, issue 4, pp. 4340–4350. <http://dx.doi.org/10.3390/ijms13044340>

51. Silatikunsatid T., Jaitanong N., Narksitipan S. A Study on Influence of Zinc Oxide in Cement Composite Materials. Key Engineering Materials, 2018, vol. 772, pp. 95–99. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/KEM.772.95>

52. Krivoborodov Yu. R., Samchenko S. V., Ryazin V. P., Burlov A. Yu. Vliyanie oksida cinka na klinkerobrazovanie [Effect of

zinc oxide on the clinker]. *Tsement i yego primeneniye*, 2014, issue 6, pp. 80–83.

53. Konovalova V. S. Investigation of the Effect of Volumetric Hydrophobization on the Ki-

netics of Mass Transfer Processes Occurring in Cement Concretes during Corrosion. *Materials*, 2023, vol. 16, issue 10. Article no. 3827. <https://doi.org/10.3390/ma16103827>

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

Коновалова Виктория Сергеевна

ФГБОУ ВО Ивановский государственный политехнический университет,

Российская Федерация, г. Иваново

кандидат технических наук, доцент кафедры естественных наук и техносферной безопасности

E-mail: kotprotiv@yandex.ru

Konovalova Viktoriya Sergeevna

Federal State Budget Educational Establishment of Higher Education «Ivanovo State Polytechnic

University»,

Russian Federation, Ivanovo

candidate of technical sciences, docent of the department of natural sciences and technosphere safety

E-mail: kotprotiv@yandex.ru

Гальцев Алексей Андреевич

ФГБОУ ВО Сахалинский государственный университет,

Российская Федерация, г. Южно-Сахалинск

старший преподаватель кафедры геологии и нефтегазового дела

E-mail: galts.alexey@gmail.com

Gal'tsev Aleksey Andreevich

Federal State Budget Educational Establishment of Higher Education «Sakhalin State University»,

Russian Federation, Yuzhno-Sakhalinsk

senior lecturer of the department of geology and oil and gas

E-mail: galts.alexey@gmail.com

Строкин Константин Борисович

ФГБОУ ВО Сахалинский государственный университет,

Российская Федерация, г. Южно-Сахалинск

доктор экономических наук, доцент, профессор кафедры строительства,

директор Технического нефтегазового института

E-mail: strokin07@rambler.ru

Strokin Konstantin Borisovich

Federal State Budget Educational Establishment of Higher Education «Sakhalin State University»,
Russian Federation, Yuzhno-Sakhalinsk
doctor of Economic sciences, docent, professor of the department of construction,
director of the Technical oil and gas institute
E-mail: strokin07@rambler.ru

Нармания Борис Евгеньевич

ФГБОУ ВО Национальный исследовательский Московский государственный строительный
университет,
Российская Федерация, г. Москва
аспирант
E-mail: borisfablee@gmail.com

Narmaniya Boris Evgenievich

Federal State Budget Educational Establishment of Higher Education «Moscow State University
of Civil Engineering (National Research University)»,
Russian Federation, Moscow
postgraduate student
E-mail: borisfablee@gmail.com

УДК 66.018:620.1

ПОВЫШЕНИЕ ПРОЧНОСТИ СЦЕПЛЕНИЯ АРМАТУРЫ С БЕТОНОМ ПОСРЕДСТВОМ ОБЪЕМНОЙ ГИДРОФОБИЗАЦИИ ЦЕМЕНТНОГО КАМНЯ

В. Е. РУМЯНЦЕВА^{1,2}, В. С. КОНОВАЛОВА², А. А. ГАЛЬЦЕВ³, К. Б. СТРОКИН³, Д. Г. НОВИКОВ³

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

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

³ФГБОУ ВО Сахалинский государственный университет,
Российская Федерация, г. Южно-Сахалинск

E-mail: varrym@gmail.com, kotprotiv@yandex.ru, galts.alexey@gmail.com,
strokin07@rambler.ru, denis.g.novikov@gmail.com

На основании кривых смещения арматуры в бетоне при вырывании получены представления о влиянии объемной гидрофобизации цементного камня на прочность сцепления бетона с арматурными стержнями. Исследования проводились на образцах бетона, изготовленного из портландцемента и армированного стальной и стекловолоконной арматурой периодического профиля диаметром 10 мм. Добавка стеарата кальция в количестве 0,5 масс. % в цементную смесь при изготовлении бетона способствует повышению его прочности на сжатие на 30 %. В результате формирования более плотной структуры при твердении бетона с гидрофобной добавкой и его упрочнения улучшается сцепление бетона с находящейся в нем арматурой. При вырывании композитной арматуры из бетона происходит отрыв навивки от поверхности арматурного стержня, вследствие чего она быстрее выскользывает. Вид кривых соответствует такому поведению системы «композитная арматура – бетон», на них отсутствует площадка, характеризующая передачу усилий через ребра навивки. У образцов бетона со стальной арматурой эта стадия является выраженной, и площадка увеличивается при гидрофобизации бетона. Из бетона с добавкой стеарата кальция арматурные стержни вырываются при больших усилиях, и перемещение происходит медленнее.

Ключевые слова: коррозия бетона, гидрофобный бетон, гидрофобная добавка, прочность бетона, вырывание арматуры, прочность сцепления, скольжение арматуры.

INCREASING THE BOND STRENGTH OF REINFORCEMENT TO CONCRETE THROUGH VOLUMETRIC HYDROPHOBIZATION OF CEMENT STONE

V. E. RUMYANTSEVA, V. S. KONOVALOVA, A. A. GAL'TSEV, K. B. STROKIN, D. G. NOVIKOV

¹Federal 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

²Federal State Budget Educational Establishment of Higher Education
«Ivanovo State Polytechnic University»,
Russian Federation, Ivanovo

³Federal State Budget Educational Establishment of Higher Education «Sakhalin State University»,
Russian Federation, Yuzhno-Sakhalinsk

E-mail: varrym@gmail.com, kotprotiv@yandex.ru, galts.alexey@gmail.com,
strokin07@rambler.ru, denis.g.novikov@gmail.com

Based on the displacement curves of reinforcement in concrete during tearing, ideas were obtained about the effect of volumetric hydrophobization of cement stone on the bond strength of concrete with reinforcing rods. The research was carried out on samples of concrete made of Portland cement and reinforced with steel and fiberglass reinforcement of a periodic profile with a diameter of 10 mm. The addition of calcium stearate in an amount of 0.5 wt. % in the cement mixture in the manufacture of concrete contributes to an increase in its compressive strength by 30 %. As a result of the formation of a denser structure during the hardening of concrete with a hydrophobic additive and its hardening, the adhesion of concrete to the reinforcement improves. When the composite reinforcement is pulled out of concrete, the winding is detached

from the surface of the reinforcing bar, as a result of which it slips out faster. The shape of the curves corresponds to this behavior of the «composite reinforcement – concrete» system, they lack a platform that characterizes the transfer of forces through the winding ribs. In concrete samples with steel reinforcement, this stage is pronounced, and the area increases with the hydrophobization of concrete. Reinforcing bars are pulled out of concrete with the addition of calcium stearate with great effort, and the movement is slower.

Keywords: concrete corrosion, hydrophobic concrete, hydrophobic additive, concrete strength, reinforcement pull-out behavior, bond strength, reinforcement sliding

Введение

Усиленные железобетонные конструкции, такие как здания, мосты и дороги, имеют решающее значение для нашей инфраструктуры и повседневной жизни. Прочность и устойчивость этих конструкций зависят от сцепления между стальными арматурными стержнями (арматурными балками) и окружающим их бетоном. Сцепление между стальной арматурой и бетоном имеет решающее значение для передачи усилий между двумя материалами. Без прочного соединения бетон может треснуть и разрушиться под действием нагрузок, которым он подвергается, что может привести к катастрофическому разрушению конструкции. Прочность соединения важна для защиты арматурной стали от коррозии, которая со временем может ослабить конструкцию.

Прочность соединения может варьироваться в зависимости от нескольких факторов, включая состояние поверхности арматурного стержня, свойства бетона и геометрию арматурного стержня [1–3]. Испытания на прочность сцепления важны для гарантии того, что железобетонные конструкции спроектированы и изготовлены таким образом, чтобы выдерживать нагрузки, с которыми они столкнутся в процессе эксплуатации. Эти испытания используются для оценки эксплуатационных характеристик различных типов арматурных стержней или для исследования причин разрушения соединения в существующих конструкциях [4, 5].

Было установлено, что проскальзывание происходит главным образом из-за относительного перемещения бетона и стали вдоль поверхности ребер, а также из-за дробления строительного раствора [6, 7]. В прутках с небольшим расстоянием между ребрами и небольшой высотой ребер прочность сцепления снижается [8, 9]. Прочность сцепления уменьшается с увеличением диаметра стержня [10, 11]. Значительное влияние на сцепление с арматурой оказывает прочность бетона. Проведенные испытания подтвердили результаты предыдущих исследований о повышении прочности сцепления с увеличением прочности бетона на сжатие, хотя зависимость была нелинейной [12, 13]. Хотя высокопрочные бетоны разрушались при более высоких напряжениях

сцепления, они демонстрировали взрывоопасные, хрупкие разрушения [14].

Альтернативой для решения проблемы коррозии может быть замена обычной стальной арматуры, размещенной в бетоне, на стержни из стекловолокна. Поэтому важно провести оценку эффективности сцепления между бетоном и стекловолокном. Имеются многочисленные результаты по установлению сцепления между бетоном и арматурной сталью, а также проводились и продолжают исследования по сцеплению между бетоном и стеклопластиком.

Кроме того, некоторые факторы, такие как эпоксидное покрытие, отрицательно влияют на прочность соединения. Этот эффект обусловлен снижением адгезии и трения на гладкой поверхности эпоксидной смолы [15, 16]. Было обнаружено, что по сравнению с прутками без покрытия снижение прочности сцепления составляет от 15 % до 50 % в зависимости от нескольких факторов, таких как толщина покрытия, размер и расположение прутка, характер деформации, свойства бетона и условия заливки [17]. Поэтому, чтобы компенсировать такие потери, конструкторские нормы предусматривали увеличение длины заделки прутков в бетон.

Существуют различные методы определения прочности соединения стальных арматурных стержней, но одним из наиболее распространенных является испытание на вырывание. Этот тест включает в себя заделку отрезка арматуры в бетонный цилиндр или блок, отверждение бетона, а затем приложение усилия для вытягивания арматуры из бетона. Усилие, необходимое для вытягивания арматурного стержня, измеряется и используется для расчета прочности соединения арматурного стержня с бетоном. Результаты испытаний на прочность соединения обычно выражаются в виде напряжения соединения, которое представляет собой усилие на единицу площади, необходимое для вытягивания арматурного стержня из бетона.

В целом, связь между напряжением и проскальзыванием арматуры в бетоне при вырывании может быть описана кривой, общий вид которой показан на рис. 1. При вырывании арматуры из бетона система проходит через

следующие стадии: склеивание, когда арматура сцеплена с бетоном как механически, так и посредством химического взаимодействия; вязкая стадия, на которой сжимающее напряжение передается бетону выступами на поверхности арматуры; расщепление, когда происходит разрыв связей между поверхностью арматуры и бетона; скольжение, когда происходит перемещение арматурного стержня в бетоне. Наиболее важными являются первая и вторая стадии, когда целостность системы еще не нарушена. Поэтому важно повысить усилие вырывания арматуры из бетона для обеспечения работоспособности армированного бетонного изделия даже в условиях коррозионного воздействия.

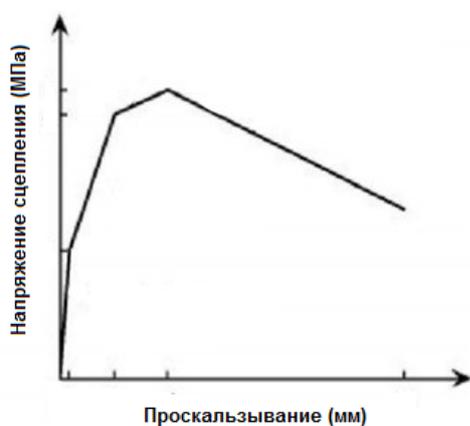


Рис. 1. Зависимость напряжения сцепления от проскальзывания при выдергивании арматуры из бетона

Целью исследования являлось изучение работы системы «арматура – гидрофобный бетон» при нагрузках. Для этого проведено изучение влияния гидрофобной добавки стеарата кальция на прочностные характеристики армированного бетона: прочность на сжатие бетона и прочность сцепления бетона с арматурой. Полученные данные используются для формирования принципов повышения долговечности армированных бетонов.

Материалы и методы

В данном исследовании с целью повышения прочности бетона и усиления сцепления арматуры с бетоном проводилась объемная гидрофобизация цементного камня введением в цементную смесь стеарата кальция. Оценка влияния гидрофобной добавки на сцепление арматуры с бетоном выполнялась для армиро-

ванных стальными и стеклопластиковыми прутками образцов.

Образцы бетона изготавливались из портландцемента марки ЦЕМ I 42,5 Н и гравийного щебня фракцией 5-10 мм. Водоцементное соотношение 0,3. На стадии замешивания цементного теста вводился стеарат кальция в количестве 0,5 масс. %. Количество гидрофобной добавки обусловлено проведенными ранее исследованиями [18, 19], в которых указанная добавка показала положительный эффект на стойкость цементного камня бетона к хлоридной коррозии.

Из бетонной смеси заливались кубы с гранью 10 см. Также в цилиндрической форме диаметром 10 см бетоном заливались прутки арматуры диаметром 10 мм, глубина заделки составляла 10 см. Арматурные стержни были сложного профиля (рис. 2). Образцы отверждались на воздухе при нормальных условиях в течение 28 суток.

Прочность бетона определялась согласно ГОСТ 10180-2012¹ с помощью гидравлического пресса. Образец кубической формы с гранью 10 см устанавливался на плиту пресса по центру, затем проводилось совмещение образца с верхней плитой, после чего велось непрерывное нагружение образца до разрушения. Скорость увеличения нагрузки устанавливалась так, чтобы минимальное время разрушения цементного камня составляло более 30 секунд. По зафиксированному максимальному значению нагрузки рассчитывалась прочность на сжатие для каждого образца.

Испытания по вырыванию арматуры из бетона проводились на образцах цилиндрической формы по ГОСТР 57357-2016/EN 10080:2005² и ГОСТ 32492-2015³. Принцип испытания следующий: к арматурному стержню или проволоке, которые включаются в бетонный образец вдоль определенной длины, прикладывают растягивающее усилие. Другой конец стержня остается без напряжения. Соотношение между силой растяжения и сдвигом (т. е. относительное смещение между арматурой и бетоном) измеряется до разрушения. Силу увеличивают до разрушения сцепления или непосредственно арматуры. Сила натяжения прикладывается к длинному концу образца. Сдвиг измеряется в начале и в конце каждого приращения нагружения.

Группы образцов для каждого вида испытаний состояли из 10 штук без добавок и 10 штук с добавкой стеарата кальция. Результаты усреднялись по минимум 5 не отличающимся друг от друга на 5 % значениям.

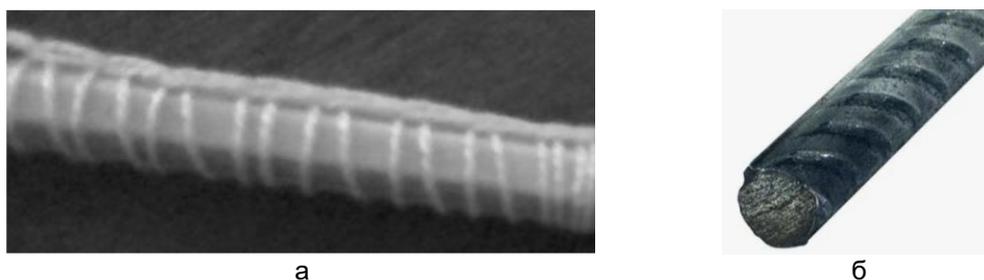


Рис. 2. Стекловолоконная арматура периодического профиля (а) и стальная арматура класса А500С (б), используемые в исследовании

Результаты и обсуждение

Объемная гидрофобизация цементного камня способствует удержанию воды при твердении бетона, что обуславливает более полную гидратацию цемента и образование большего количества высококристаллических кальцийсодержащих фаз в структуре цемент-

ного камня [20]. Стеарат кальция оседает на стенках пор и капилляров в цементном камне, делая их гидрофобными и частично кольматируя [18, 21]. Вследствие этого затвердевший бетон приобретает улучшенные эксплуатационные характеристики, в частности большую прочность и меньшую водопроницаемость [20].

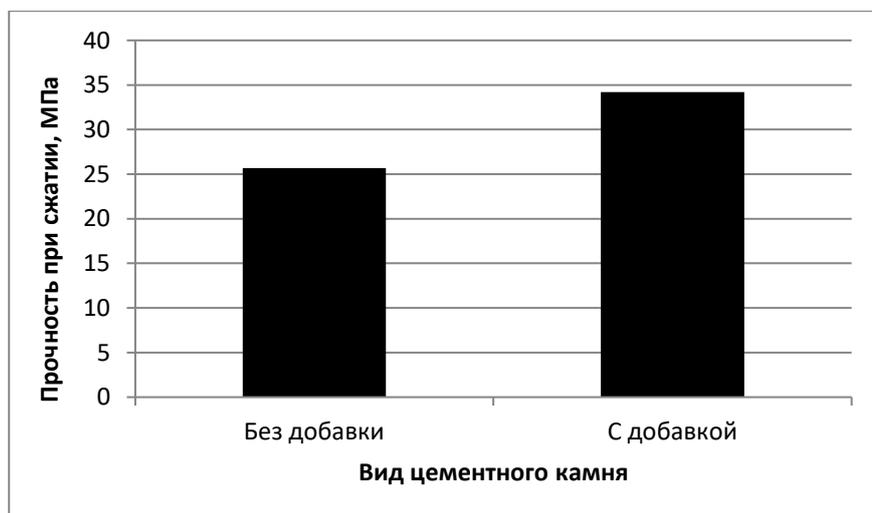


Рис. 3. Изменение прочности при сжатии цементного камня вследствие введения добавки стеарата кальция в количестве 0,5 масс %

При вырывании стальной арматуры из бетона прикладывается большее усилие, чем при вырывании стекловолоконного прутка (рис. 4). Вырывание арматурных стержней из бетона с гидрофобной добавкой происходит при больших усилиях, что, как было отмечено, связано с большей прочностью и более плотной структурой бетона. Прочность сцепления композитной арматуры с бетоном ниже, чем у стальной, в основном из-за скалывания и отрыва навивки с поверхности стержня. Вслед-

ствие этого для вырывания стекловолоконной арматуры из бетона требуются меньшие напряжения, нарушение целостности системы происходит быстрее.

На кривых для стекловолоконной арматуры не возникает площадки, соответствующей третьей стадии, когда происходит разрыв связей между поверхностью арматурного стержня и бетоном. Это связано с тем, что навивка при вырывании прутка из бетона отрывается и скалывается от поверхности стержня, поэтому не происходит удерживания арматуры в бетоне. Ребра стальной арматуры дольше сцеплены с бетоном, и в образце со стеаратом кальция это состояние длится дольше, о чем свидетельствует плато на кривой.

¹ ГОСТ 10180-2012 «Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам»

² ГОСТР 57357-2016/EN 10080:2005 «Сталь для армирования железобетонных конструкций. Технические условия»

³ ГОСТ 32492-2015 «Арматура композитная полимерная для армирования бетонных конструкций. Методы определения физико-механических характеристик»

Часто при изучении сцепления арматуры с бетоном рассматривают только первую стадию на кривых, характеризующую поведение системы до нарушения совместной работы. Восходящие ветви, соответствующие этому участку, на рис. 4 выглядят прямыми, но при изменении масштаба их вид изменяется, показывая постепенное затухание нарастания нагрузки при смещении арматуры в бетоне (рис. 5). На этом участке на сцепление арматуры с бетоном не оказывают влияние возникающие при вырывании напряжения. Поэтому может быть зафиксировано и оценено влияние на прочность сцепления накопленных при эксплуатации изделия повреждений или характе-

ристик бетона, если испытание проводится сразу после изготовления изделия.

По разнице в усилие вырывания на начальном этапе можно в общем судить о сцеплении арматуры с бетоном. Бетон с гидрофобной добавкой показывает большее усилие сцепления, однако для композитной арматуры разница незначительна до нарушения связи между поверхностью арматуры с бетоном. Бетон с более высокой начальной прочностью будет менее подвержен трещинообразованию при смещении арматурного стержня, что замедлит передачу нагрузки через трещины.

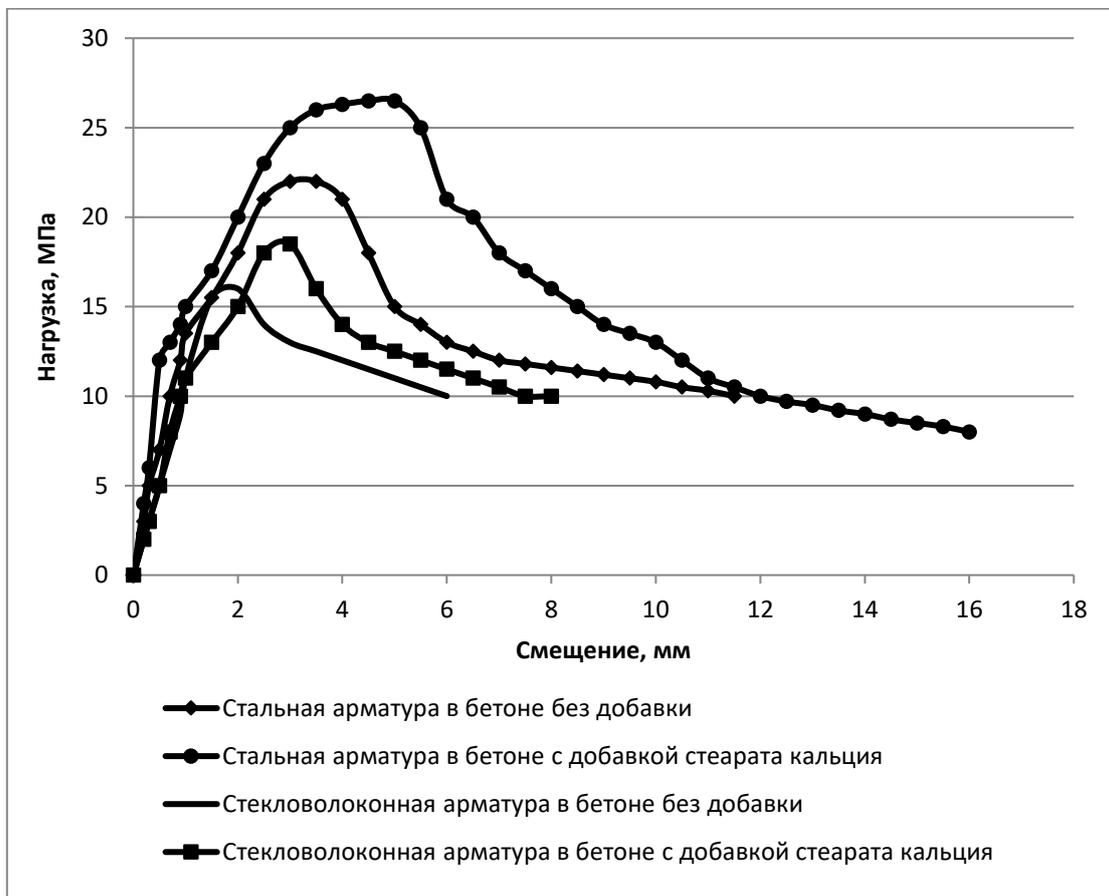


Рис. 4. Влияние добавки стеарата кальция (0,5 масс. %) поведение прутков стальной и стекловолоконной арматуры в бетоне при вырывании

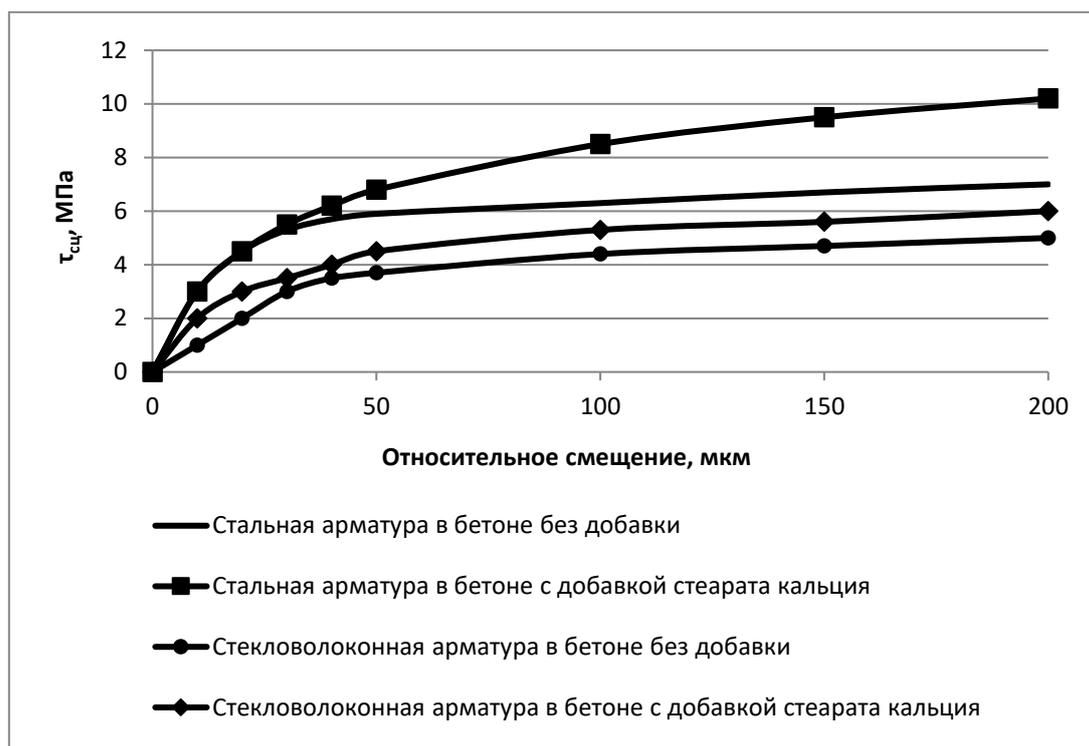


Рис. 5. Влияние объемной гидрофобизации на смещение арматуры в бетоне

Заключение

Добавление стеарата кальция в цементную смесь при изготовлении бетона положительно сказывается на эксплуатационных характеристиках бетона и совместной работе системы «арматура – бетон» под нагрузками. Арматура в бетоне с добавкой стеарата кальция дольше сохраняет сцепление с бетоном при наложении нагрузок и медленнее проскальзывает при вырывании. Наиболее целесообразно обеспечивать объемную гидрофо-

бизацию бетона при изготовлении железобетонных изделий, поскольку гидрофобная добавка не только повысит прочностные характеристики бетона, но и предотвратит коррозию стальной арматуры и, как следствие, потерю прочности сцепления. Поскольку композитная арматура устойчива к воздействию агрессивных сред, влияние гидрофобизатора будет проявляться в повышении долговечности бетона и улучшении совместной работы бетона и арматурного стержня.

Список литературы

1. Механические свойства контакта стеклопластиковой арматуры с бетоном / Э. Гудонис, Р. Качанаускас, В. Грибняк [и др.] // Механика композитных материалов. 2014. Т. 50. № 4. С. 641–654.
2. Характер сцепления с бетоном стержневой арматуры различных профилей / А. С. Семченков, А. С. Залесов, В. З. Мешков [и др.] // Бетон и железобетон. 2007. № 5. С. 2–7.
3. Bond properties of reinforcing bars embedded in brick aggregate concrete / S. R. Chowdhury, A. Tahmid, N. Z. Mim [et al.]. Journal of Civil Engineering (IEB), 2022, vol. 50, issue 1, pp. 31–42.
4. Драган А. В. О выборе методики исследования сцепления стальной арматуры с

бетоном // Вестник Брестского государственного технического университета. Серия: Строительство и архитектура. 2007. № 1. С. 12–17.

5. Reinforcement to concrete bond strength: a comparison between normal concrete and various types of concrete / R. K. Rohman, S. A. Kristiawan, H. A. Saifullah [et al.]. Journal of Physics: Conference Series, 2022, vol. 2190. Article ID 012028. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2190/1/012028>.

6. Мирсаяпов И. Т., Минзянов Р. И. Перемещение арматуры периодического профиля в заделке при статическом нагружении // Известия КГАСУ. 2022. № 4 (62). С. 18–29. https://doi.org/10.52409/20731523_2022_4_18.

7. Bond performance of ribbed bars in concrete: effects of loading rate and lateral tension / Li X.-R., Wu Z.-M., Zheng J.-J. [et al.]. Magazine of Concrete Research, 2023, vol. 75, is-

sue 8, pp. 402-416. <https://doi.org/10.1680/jmacr.22.00022>.

8. Bond Behavior of Basalt Fiber-Reinforced Polymer Bars Embedded in Concrete Under Mono-tensile and Cyclic Loads / Liu X., Wang X., Xie K. [et al.]. *International Journal of Concrete Structures and Materials*, 2020, vol. 14. Article no. 19. <https://doi.org/10.1186/s40069-020-0394-4>.

9. Макарова Н. В., Комаров А. И., Цуприк В. Г. Прочностные и деформационные свойства контакта композитной арматуры с мелкозернистым бетоном // *Вестник инженерной школы ДВФУ*. 2020. № 3 (44). С. 139–150. <http://www.dx.doi.org/10.24866/2227-6858/2020-3-14>.

10. Экспериментальное исследование прочности сцепления арматуры с цементно-песчаным бетоном / А. Н. Николюкин, В. П. Ярцев, А. А. Мамонтов [и др.] // *Строительство и архитектура*. 2019. № 4. С. 9–18. <https://doi.org/10.29039/2308-0191-2019-7-4-918>.

11. Wang Q., Liu Y., Han Z. Experimental study on influencing factors of anchorage performance of concrete bonded rebars. *Material Science, Engineering and Applications*, 2022, vol. 2, issue 1, pp. 15–24. <https://doi.org/10.21595/msea.2022.22460>.

12. Pegin P. A., Pavlovets A. V. Analysis of the adhesion strength of the A550 reinforcement to concrete B25, B30 and B40. *E3S Web of Conferences*, 2024, vol. 549. Article ID 01013. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202454901013>.

13. Flexural Bond Behavior of Rebar in Ultra-High Performance Concrete Beams Considering Lap-Splice Length and Cover Depth / S. Kim, J. Lee, C. Joh [et al.]. *Engineering*, 2016, vol. 8, issue 3, pp. 116-129. <http://dx.doi.org/10.4236/eng.2016.83013>.

14. Mendis P., French C. Bond strength of reinforcement in high-strength concrete. *Advances in Structural Engineering*, 2000, vol. 3, issue 3, pp. 245–253. <https://doi.org/10.1260/1369433001502175>.

15. Совместная работа эпоксидного композита и защитного покрытия с цементным бетоном в зоне их адгезионного контакта / В. Г. Хозин, А. Р. Гиздатуллин, И. Т. Мирсаяпов [и др.] // *Строительные материалы*. 2023. № 4. С. 24–31. <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2023-812-4-24-31>

16. Wang J., Lu S. Review of Short-Term and Long-Term Bond Properties Between Epoxy-Coated Reinforcement and Concrete. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2021, vol. 719. Article ID 022017. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/719/2/022017>.

17. De Anda L., Courtier C., Moehle J. Bond strength of prefabricated epoxy-coated reinforcement. *ACI Structural Journal*, 2006, vol. 103,

issue 2, pp. 226–234. <http://doi.org/10.14359/15180>.

18. The role of colmatation in liquid corrosion of hydrophobized concrete / S. V. Fedosov, V. E. Romyantseva, V. S. Konovalova [et al.]. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2020, vol. 896. Article ID 012096. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/896/1/012096>.

19. Определение ресурса безопасной эксплуатации конструкций из бетона, содержащего гидрофобизирующие добавки / С. В. Федосов, В. Е. Румянцева, И. В. Красильников [и др.] // *Известия вузов. Технология текстильной промышленности*. 2017. № 6 (372). С. 268–276.

20. Fedosov S. V., Romyantseva V. E., Konovalova V. S. The Effect of Volumetric Hydrophobization on Moisture Transfer during Hardening of Concrete. *Materials Science Forum*, 2020, vol. 1007, pp. 85–89. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.1007.85>.

21. Park J.-H., Yoon C.-B. Properties and Durability of Cement Mortar Using Calcium Stearate and Natural Pozzolan for Concrete Surface Treatment. *Materials*, 2022, vol. 15, issue 16. Article no. 5762. <https://doi.org/10.3390/ma15165762>

References

1. Механические свойства контакта стеклопластиковой арматуры с бетоном [Mechanical properties of the bond between GFRP reinforcing bars and concrete] / E. Gudonis, R. Kacianauskas, V. Gribniak [et al.]. *Mekhanika kompozitnykh materialov*, 2014, vol. 50, issue 4, pp. 641–654.

2. Характер сцепления с бетоном стержневой арматуры различных профилей [The nature of the adhesion of bar fittings of various profiles to concrete] / A. S. Semchenkov, A. S. Zalesov, V. Z. Meshkov [et al.]. *Beton i zhelezobeton*, 2007, issue 5, pp. 2–7.

3. Bond properties of reinforcing bars embedded in brick aggregate concrete / S. R. Chowdhury, A. Tahmid, N. Z. Mim [et al.]. *Journal of Civil Engineering (IEB)*, 2022, vol. 50, issue 1, pp. 31–42.

4. Dragan A. V. О выборе методики исследования сцепления стальной арматуры с бетоном [On the choice of a methodology for studying the adhesion of steel reinforcement to concrete]. *Vestnik Brestskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arhitektura*, 2007, issue 1, pp. 12–17.

5. Reinforcement to concrete bond strength: a comparison between normal concrete and various types of concrete / R. K. Rohman, S. A. Kristiawan, H. A. Saifullah [et al.]. *Journal of Physics: Conference Series*, 2022, vol. 2190. Article ID 012028. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2190/1/012028>.

6. Mirsayapov I. T., Minzyanov R. I. Peremeshchenie armatury periodicheskogo profilya v zadelke pri staticheskom nagruzenii [Movement of the reinforcement of a periodic profile in the embedment under static load]. *Izvestiya KGASU*, 2022, vol. 4 (62), pp. 18–29.
7. Bond performance of ribbed bars in concrete: effects of loading rate and lateral tension / Li X.-R., Wu Z.-M., Zheng J.-J. [et al.]. *Magazine of Concrete Research*, 2023, vol. 75, issue 8, pp. 402–416. <https://doi.org/10.1680/jmacr.22.00022>.
8. Bond Behavior of Basalt Fiber-Reinforced Polymer Bars Embedded in Concrete Under Mono-tensile and Cyclic Loads / Liu X., Wang X., Xie K. [et al.]. *International Journal of Concrete Structures and Materials*, 2020, vol. 14. Article no. 19. <https://doi.org/10.1186/s40069-020-0394-4>.
9. Makarova N., Komarov A., Tsuprik V. Prochnostnye i deformacionnye svojstva kontakta kompozitnoj armatury s melkozernistym betonom [Strength and deformation properties of the contact of composite reinforcement with fine-grained concrete]. *Vestnik inzhenernoj shkoly DVFU*, 2020, vol. 3/44, pp. 139–150. <http://www.dx.doi.org/10.24866/2227-6858/2020-3-14>.
10. Eksperimental'noe issledovanie prochnosti sčepeniya armatury s cementno-peschanyim betonom [Experimental studies of the coupling strength of reinforcement with cement-sand concrete] / A. N. Nikolyukin, V. P. Yarcev, A. A. Mamontov [et al.]. *Stroitel'stvo i arhitektura*, 2019, issue 4, pp. 9–18. <https://doi.org/10.29039/2308-0191-2019-7-4-9-18>.
11. Wang Q., Liu Y., Han Z. Experimental study on influencing factors of anchorage performance of concrete bonded rebars. *Material Science, Engineering and Applications*, 2022, vol. 2, issue 1, pp. 15–24. <https://doi.org/10.21595/msea.2022.22460>.
12. Pegin P. A., Pavlovets A. V. Analysis of the adhesion strength of the A550 reinforcement to concrete B25, B30 and B40. *E3S Web of Conferences*, 2024, vol. 549. Article ID 01013. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202454901013>.
13. Flexural Bond Behavior of Rebar in Ultra-High Performance Concrete Beams Considering Lap-Splice Length and Cover Depth / S. Kim, J. Lee, C. Joh [et al.]. *Engineering*, 2016, vol. 8, issue 3, pp. 116–129. <http://dx.doi.org/10.4236/eng.2016.83013>.
14. Mendis P., French C. Bond strength of reinforcement in high-strength concrete. *Advances in Structural Engineering*, 2000, vol. 3, issue 3, pp. 245–253. <https://doi.org/10.1260/1369433001502175>.
15. Sovmestnaya rabota epoksidnogo kompozita i zashchitnogo pokrytiya s cementnym betonom v zone ih adgezionnogo kontakta [Combined action of epoxy composite and protective coating with cement concrete in the adhesive contact zone] / V. G. Khozin, A. R. Gizdatullin, I. T. Mirsayapov [et al.]. *Stroitel'nye Materialy*, 2023, issue 4, pp. 24–31. <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2023-812-4-24-31>.
16. Wang J., Lu S. Review of Short-Term and Long-Term Bond Properties Between Epoxy-Coated Reinforcement and Concrete. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2021, vol. 719. Article ID 022017. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/719/2/022017>.
17. De Anda L., Courtier C., Moehle J. Bond strength of prefabricated epoxy-coated reinforcement. *ACI Structural Journal*, 2006, vol. 103, issue 2, pp. 226–234. <http://doi.org/10.14359/15180>.
18. The role of colmatation in liquid corrosion of hydrophobized concrete / S. V. Fedosov, V. E. Rumyantseva, V. S. Konovalova [et al.]. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2020, vol. 896. Article ID 012096. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/896/1/012096>.
19. Opredelenie resursa bezopasnoj eksploatacii konstrukcij iz betona, soderzhashchego gidrofobiziruyushchie dobavki [Determination of safe service life of structures made of concrete containing hydrophobic additives] / S. V. Fedosov, V. E. Rumyantseva, I. V. Krasilnikov [et al.]. *Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Tekhnologiya tekstil'noj promyshlennosti*, 2017, vol. 6 (372), pp. 268–276.
20. Fedosov S. V., Rumyantseva V. E., Konovalova V. S. The Effect of Volumetric Hydrophobization on Moisture Transfer during Hardening of Concrete. *Materials Science Forum*, 2020, vol. 1007, pp. 85–89. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.1007.85>.
21. Park J.-H., Yoon C.-B. Properties and Durability of Cement Mortar Using Calcium Stearate and Natural Pozzolan for Concrete Surface Treatment. *Materials*, 2022, vol. 15, issue 16. Article no. 5762. <https://doi.org/10.3390/ma15165762>

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

Коновалова Виктория Сергеевна

ФГБОУ ВО Ивановский государственный политехнический университет,
Российская Федерация, г. Иваново
доктор технических наук, доцент кафедры естественных наук и техносферной безопасности
E-mail: kotprotiv@yandex.ru

Konovalova Viktoriya Sergeevna

Federal State Budget Educational Establishment of Higher Education
«Ivanovo State Polytechnic University»,
Russian Federation, Ivanovo
doctor of technical sciences, docent of the department of natural sciences and technosphere safety
E-mail: kotprotiv@yandex.ru

Гальцев Алексей Андреевич

ФГБОУ ВО Сахалинский государственный университет,
Российская Федерация, г. Южно-Сахалинск
старший преподаватель кафедры геологии и нефтегазового дела
E-mail: galts.alexey@gmail.com

Gal'tsev Aleksey Andreevich

Federal State Budget Educational Establishment of Higher Education «Sakhalin State University»,
Russian Federation, Yuzhno-Sakhalinsk
senior lecturer of the department of geology and oil and gas
E-mail: galts.alexey@gmail.com

Строкин Константин Борисович

ФГБОУ ВО Сахалинский государственный университет,
Российская Федерация, г. Южно-Сахалинск
доктор экономических наук, доцент, профессор кафедры строительства,
директор Технического нефтегазового института
E-mail: strokin07@rambler.ru

Strokin Konstantin Borisovich

Federal State Budget Educational Establishment of Higher Education «Sakhalin State University»,
Russian Federation, Yuzhno-Sakhalinsk
doctor of Economic sciences, docent, professor of the department of construction,
director of the Technical oil and gas institute
E-mail: strokin07@rambler.ru

Новиков Денис Геннадьевич

ФГБОУ ВО Сахалинский государственный университет,

Российская Федерация, г. Южно-Сахалинск

Кандидат технических наук, и.о. зав. кафедрой строительства

E-mail: denis.g.novikov@gmail.com

Novikov Denis Gennadievich

Federal State Budget Educational Establishment of Higher Education «Sakhalin State University»,

Russian Federation, Yuzhno-Sakhalinsk

candidate of technical sciences, acting head of the department of construction

E-mail: denis.g.novikov@gmail.com

**ТЕПЛОСНАБЖЕНИЕ, ВЕНТИЛЯЦИЯ, КОНДИЦИОНИРОВАНИЕ ВОЗДУХА,
ГАЗОСНАБЖЕНИЕ И ОСВЕЩЕНИЕ
(ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ)
HEAT, VENTILATION, AIR CONDITIONING, GAS AND LIGHTING SUPPLY**

УДК 69.05

**РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ОПРЕДЕЛЕНИЯ
ТЕПЛОВЛАЖНОСТНОГО РЕЖИМА ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ ЗДАНИЙ
ПРИ НЕСТАЦИОНАРНОМ ТЕПЛОВОМ ПОТОКЕ**

О. А. МАЛЫГИНА

ФГБОУ ВО «Луганский государственный университет имени Владимира Даля»,
Российская Федерация, г. Луганск
E-mail: oksalita@mail.ru

Действующие нормативные документы по расчёту теплового и влажностного режимов работы ограждающих конструкций не учитывают влияния влаги на слои конструкций стен при длительной эксплуатации зданий. Поэтому встаёт вопрос о необходимости разработки математической модели для такого расчёта.

В статье рассматривается математическое моделирование процесса нестационарного теплопереноса через многослойную ограждающую конструкцию в условиях совместного воздействия теплового и влажностного режимов, учитывающего проводимое слоями конструкции тепло и тепло, аккумулирующиеся этими слоями. Данная математическая модель по сравнению с существующими позволяет учитывать изменение теплоизоляционных свойств материала каждого слоя ограждающей конструкции путём введения в блок-схему расчёта фактических значений теплоёмкости и теплопроводности материалов с учётом изменяющейся влажности в процессе эксплуатации. Приведена блок-схема алгоритма расчёта нестационарного режима тепло- и влагопереноса ограждающих конструкций.

Ключевые слова: математическое моделирование, теплоизоляционные материалы, тепло-влажностный режим; коэффициент теплопроводности; коэффициент влагопроводности; нестационарный режим; тепловая защита зданий.

**DEVELOPMENT OF MATHEMATICAL MODELS
OF DEFINITION HEAT AND HUMIDITY CONDITIONS
OF BUILDING ENCLOSING STRUCTURES WITH NON-STATIONARY HEAT FLOW**

O. A. MALYGINA

Luhansk State University named after Vladimir Dahl,
The Russian Federation, Lugansk
E-mail: oksalita@mail.ru

The current regulatory documents on the calculation of thermal and humidity modes of operation of enclosing structures do not take into account the influence of moisture on the layers of wall structures during long-term operation of buildings. Therefore, the question arises of the need to develop a mathematical model for such a calculation.

The article deals with the mathematical modeling of the process of non-stationary heat transfer through a multilayer enclosing structure under the conditions of joint exposure to thermal and humidity conditions, taking into account the heat conducted by the layers of the structure and the heat accumulated by these layers. This mathematical model, in comparison with existing ones, allows us to take into account the change in the thermal insulation properties of the material of each layer of the enclosing structure by introducing into the flowchart the calculation of the actual values of the heat capacity and thermal conductivity of materials, taking into account the changing humidity during operation. A block diagram of the algorithm for calculating the non-stationary mode of heat and moisture transfer of enclosing structures is presented.

Keywords: mathematical modeling, thermal insulation materials, heat and humidity conditions; coefficient of thermal conductivity; coefficient of moisture conductivity; non-stationary mode; thermal protection of buildings.

За последнее время в Российской Федерации появились десятки новых теплоизоляционных материалов [1–3], отличающихся по разным параметрам экологичности, огнестойкости, влагоустойчивости, технологичности монтажа, ценовой политике, сроку эксплуатации и т. д. Эти утеплители позволили осуществить прорыв в энергосбережении. Их можно использовать при строительстве новых или реконструкции старых объектов строительства. При проектировании следует учитывать такие требования как долговечность, надёжность и поддержание заданных параметров микроклимата, которые установлены для нормальной жизнедеятельности людей. Долговечность ограждающих конструкций основывается на характеристиках влагостойкости, морозостойкости, биостойкости, а также стойкости к температурным воздействиям и т. д. Теплоизоляционный слой в конструкции стены должен обеспечить необходимые теплозащитные качества ограждающей конструкции на протяжении заданного периода эксплуатации. При выборе¹ определенного теплоизолирующего материала, необходимо учитывать температурный и влажностный режим, сопротивление теплопередачи, нагрузки и деформационные воздействия на конструкцию, условия эксплуатации и другие требования, такие как воздухопроницаемость, защита от переувлажнения, пожарная безопасность и т.п. Также важным условием является необходимость, чтобы теплоизоляционный материал сохранял эксплуатационную стойкость в течение всего срока службы. Из-за того, что теплоизоляционный материал в основном находится внутри конструкции, то сложно диагностировать, как он ведет себя в различных условиях эксплуатации здания.

Из огромного спектра современных теплоизоляционных материалов для утепления фасадов зданий при реконструкции с учетом логистики и ценовой политики в городе Луганске получили широкое применение следующие теплоизоляционные материалы:

- утеплитель IZOVOL из минеральной ваты на основе базальтовых пород;
- утеплитель ТЕХНОФЛОР ПРОФ фирмы ТЕХНОНИКОЛЬ из каменной ваты;
- пенополистирол экструдированный ПЕНОПЛЕКС КОМФОРТ.

¹ СП 50.13330.2012. Тепловая защита зданий. Актуализированная редакция СНиП 23-02-2003. М.: Минрегион России, 2012. 139 с.

Теплопроводность характеризуется коэффициентом теплопроводности λ Вт/(м°К). Этот коэффициент является главной характеристикой теплоизоляционных материалов², выражающим количество тепла, проходящим через материал, толщиной 1 м и площадью 1 м² при разности температур на противоположных поверхностях 1°С за 1 ч:

$$\lambda = \frac{Q \cdot \delta}{(t_1 - t_2) \cdot F \cdot \tau}, \quad (1)$$

где Q – количество тепла, Вт; δ – толщина слоя конструкции, м; $(t_1 - t_2)$ – разность температур на поверхностях; F – площадь поверхности, м²; τ – время, ч.

Значение коэффициента теплопроводности λ приведено в существующих нормах¹³ для сухого состояния.

Утеплители IZOVOL являются жесткими гидрофобизированными теплоизоляционными плитами, изготовленными из минеральной ваты на основе базальтовых пород. Эти утеплители выпускаются плотностью 35...200 кг/м³ и с коэффициентом теплопроводности $\lambda = 0,034-0,041$ Вт/(м·К).

Утеплитель ТЕХНОФЛОР ПРОФ – это разновидность каменной ваты на основе базальтовых пород. Этот материал выпускается плотностью 155 кг/м³ и с коэффициентом теплопроводности $\lambda = 0,038-0,043$ Вт/(м·К).

Пенополистирол экструдированный ПЕНОПЛЕКС КОМФОРТ представляет собой теплоизоляционные плиты из экструзионного пенополистирола, которые выпускаются толщиной от 20 до 100 мм и плотностью 28–30,5 кг/м³, с коэффициентом теплопроводности $\lambda = 0,034$ Вт/(м·К).

Для утеплителей, использующихся в г. Луганске согласно¹³ были проведены испытания и измерены зависимости коэффициента теплопроводности некоторых теплоизоляционных материалов от влажности по массе материалов (рис.1).

² ГОСТ Р 59985-2022. Конструкции ограждающие зданий. Методы определения теплотехнических показателей теплоизоляционных материалов и изделий при эксплуатационных условиях. М.: Российский институт стандартизации, 2022. 12 С.

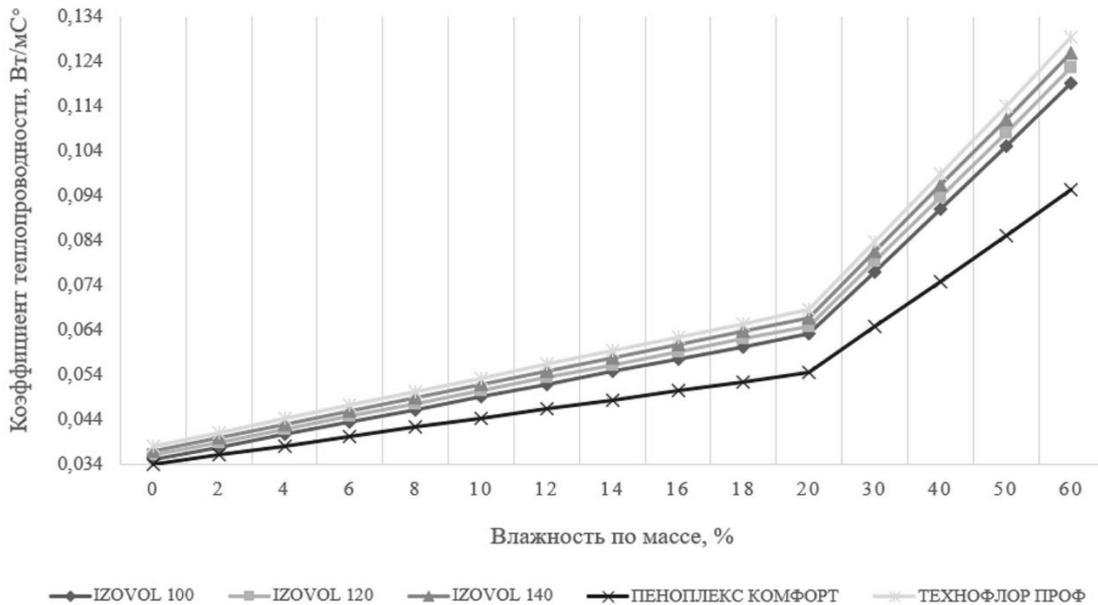


Рис. 1. Зависимости коэффициента теплопроводности разных теплоизоляционных материалов от влажности по массе

Влажность утеплителя изменяется со временем в зависимости от изменения температуры внутреннего и внешнего воздуха и от сорбционных свойств материала. Этими свойствами обладают многие теплоизоляционные материалы, используемые в строительстве. Каждый утеплитель имеет определенную зависимость его влажности от относительной

влажности воздуха при постоянной T . Данная зависимость называется изотермой сорбции и определяется с помощью эксперимента по ГОСТ 24816-81³. На рис. 2 приведены изотермы сорбции наиболее применяемых утеплителей в г. Луганске, построенные по результатам лабораторных испытаний по ГОСТ 24816-81³.

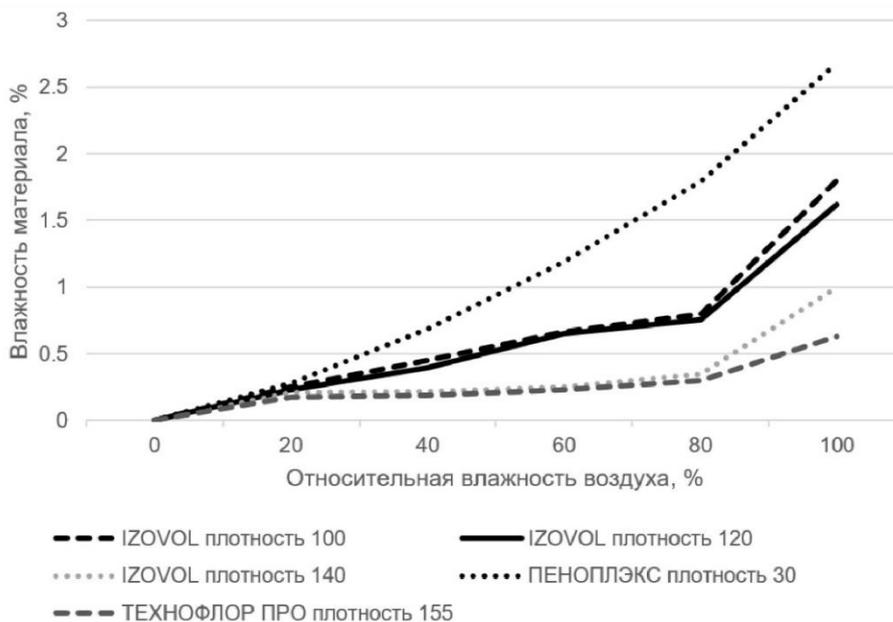


Рис. 2. Сорбционные свойства теплоизоляционных материалов

³ГОСТ 24816-81. Материалы строительные. Методы определения сорбционной влажности. М.: Издательство стандартов, 1981. 7 С.

Результаты графического анализа изотерм сорбции наглядно подтвердили, что наилучшая аппроксимация изотерм происходит при использовании полиномов третьей степени (2). Это означает, что полиномы третьего порядка отлично соответствуют полученным данным и обеспечивают высокую точность расчетов сорбционных процессов. Такой подход к аппроксимации изотерм является не только эффективным, но и широко применяемым, благодаря своей способности учесть различные зависимости между концентрацией сорбента и вещества, которое он сорбирует.

$$W_S = A_1\varphi + A_2\varphi^2 + A_3\varphi^3 \quad (2)$$

где W_S – сорбционная влажность материала, %; φ – относительная влажность воздуха; A_1, A_2, A_3 – коэффициенты переменной. Они определяются по изотермам сорбции (рис. 2).

Целью этого исследования является усовершенствование математической модели нестационарного тепло-влажносто-переноса в ограждающих конструкциях с учётом увлажнения утеплителя в процессе эксплуатации.

Разработка математической модели расчета теплового режима ограждающих конструкций

В этом исследовании предложена математическая модель теплового режима ограждающих конструкций, которая должна учитывать тепло, проводимое слоями конструкции и тепло, аккумулирующиеся этими слоями. На рис. 3 представлена схема ограждающей конструкции здания, состоящая из четырех слоев. Основными переменными параметрами наружного воздуха для г. Луганска являются T_{out} и φ_{out} . Для помещения приняты нормативные параметры внутреннего воздуха – $T_{in} = 21^\circ C$ и $\varphi_{in} = 55\%$.

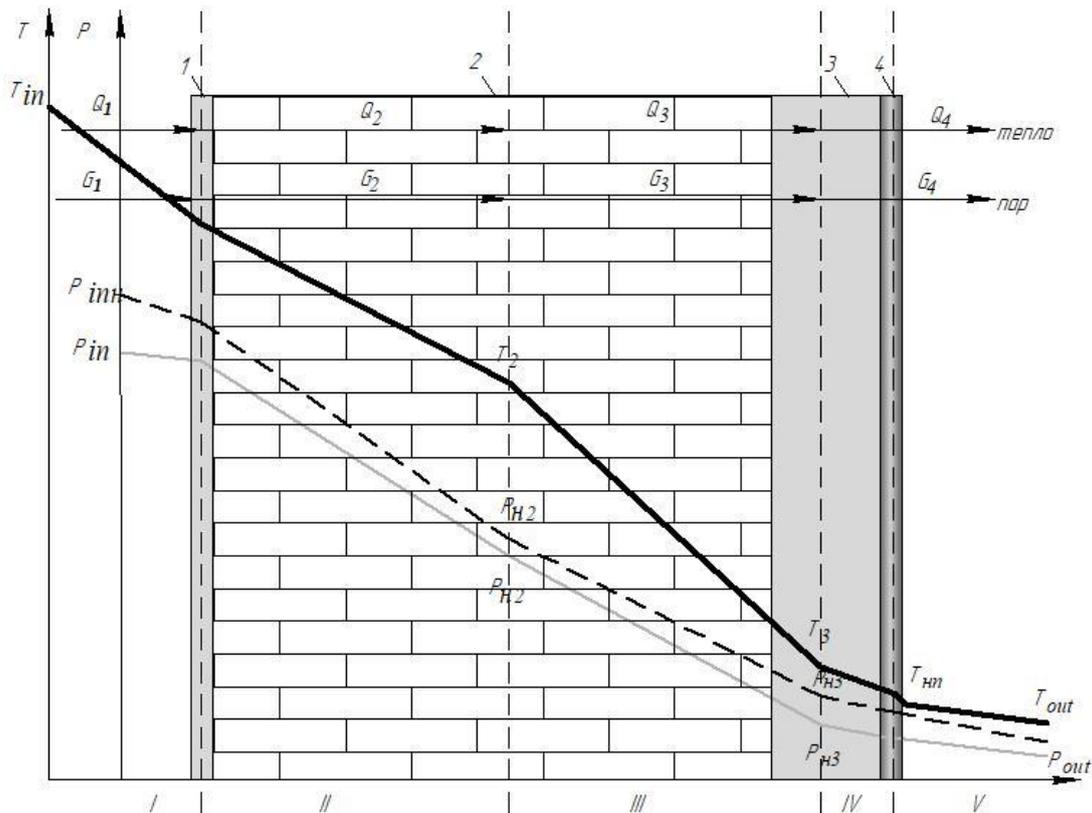


Рис. 3. Схема ограждающей конструкции

1 – штукатурный слой известковой штукатурки ($\lambda=0,7$ Вт/м*К; $C=950$ Дж/кг*°C), 2 – кирпичная стена ($\lambda=0,67$ Вт/м*К; $C=840...880$ Дж/кг*°C), 3 – утеплитель ($\lambda=0,028...0,056$ Вт/м*К; $C=840...1600$ Дж/кг*°C), 4 – облицовочный слой (гранит) ($\lambda=3...5$ Вт/м*К; $C=880$ Дж/кг*°C)

Уравнения теплового баланса для каждого слоя четырехслойного ограждения с дополнительными условиями на границе слоев запишем:

$$c_1 \rho_1 \frac{\partial T_1}{\partial t} = \lambda_1 \frac{\partial^2 T_1}{\partial x^2} \quad \text{для I слоя} \quad (3)$$

$$c_2 \rho_2 \frac{\partial T_2}{\partial t} = \lambda_2 \frac{\partial^2 T_2}{\partial x^2} \quad \text{для II слоя} \quad (4)$$

$$c_3 \rho_3 \frac{\partial T_3}{\partial t} = \lambda_3 \frac{\partial^2 T_3}{\partial x^2} \quad \text{для III слоя} \quad (5)$$

$$c_4 \rho_4 \frac{\partial T_4}{\partial t} = \lambda_4 \frac{\partial^2 T_4}{\partial x^2} \quad \text{для IV слоя} \quad (6)$$

где ρ – плотность материала; C – теплоемкость материала; $T(x, y, z, t)$ – температура, зависящая от координат и времени отсчета.

Процесс теплопередачи в ограждающих конструкциях здания является сложным и многогранным. Он включает в себя несколько этапов и механизмов, которые взаимодействуют друг с другом для обеспечения оптимального теплообмена между внешней средой и внутренним помещением. Сюда входят: процесс переноса тепла теплопроводностью между слоями, конвекцией с наружной поверхностью стенки в окружающую среду и с внутренней поверхности стенки в помещение.

При исследовании процесса теплообмена нами приняты следующие допущения [4–6]:

1. Режим теплообмена между внутренними и наружными слоями конструкции нестационарный. В теплообмене участвуют физические процессы: конвекция, излучение и теплопроводность при изменении температуры во времени.

2. На границах между слоями выполняются условия изменения температуры и влажосодержания.

3. На границе I теплообмен осуществляется между внутренней поверхностью ограждения и воздухом помещения, задаются граничные условия II рода:

$$-\lambda_1 \frac{\partial T_1}{\partial x} = \alpha_{1n} (T_{1n} - T_{en}). \quad (7)$$

где α_{1n} – коэффициент теплоотдачи поверхности ограждения с внутренним и наружным

воздухом; λ_1 – коэффициент теплопроводности I слоя; $(T_{1n} - T_{en})$ – разность температур воздуха в помещении T_{1n} и внутренней поверхности первого слоя ограждения T_{en} с коэффициентом теплопроводности λ_1 и температурой T_1 в центре;

На границе IV между наружной поверхностью ограждения и окружающим воздухом осуществляется конвекция, задаются граничные условия III рода:

$$-\lambda_4 \frac{\partial T_4}{\partial x} = \alpha_{oep} (T_{oep} - T_e). \quad (8)$$

где $(T_{oep} - T_e)$ – разность температур наружного воздуха и наружной поверхности четвертого слоя ограждения с коэффициентом теплопроводности λ_4 и температурой T_4 в центре.

На границах между первым и вторым слоями, между вторым и третьим слоями, между третьим и четвертым слоями задаются граничные условия IV рода [7–8]:

$$-\lambda_1 \left(\frac{\partial T_1}{\partial x} \right)_n = -\lambda_2 \left(\frac{\partial T_2}{\partial x} \right)_n, \quad T_{1n} = T_{2n} \quad (9)$$

$$-\lambda_2 \left(\frac{\partial T_2}{\partial x} \right)_n = -\lambda_3 \left(\frac{\partial T_3}{\partial x} \right)_n, \quad T_{2n} = T_{3n} \quad (10)$$

$$-\lambda_3 \left(\frac{\partial T_3}{\partial x} \right)_n = -\lambda_4 \left(\frac{\partial T_4}{\partial x} \right)_n, \quad T_{3n} = T_{4n} \quad (11)$$

Решение нестационарной теплопередачи в многослойном ограждении определяется законом теплопроводности Фурье и законом аккумуляции тепла слоями ограждения [8, 9].

Согласно закону теплопроводности Фурье тепловой поток Q пропорционален изменению температуры $gradT$:

$$Q = -\lambda \frac{\partial T}{\partial x}, \quad \text{или} \quad Q = -\lambda \frac{\partial T}{R}, \quad (12)$$

где R – сопротивление теплопередаче.

Закон аккумуляции тепла каждым слоем ограждения записывается следующим образом:

$$dQ_{ак} = C \cdot dx \cdot dT, \quad (13)$$

где C – теплоемкость; dQ – приращение количества теплоты слоем; dT – приращение температуры в этом слое; dx – размер аккумулярованного слоя.

Рассмотрим задачу передачи тепла в направлении от внутреннего воздуха помещения через четырехслойное ограждение к наружному воздуху.

Уравнение для теплового потока Q_1 , передаваемого внутренним воздухом помещения с температурой T_{1n} первому слою ограждения с толщиной слоя ограждения равной $\delta_1/2$ с температурой в центре T_1 согласно (12) с учетом граничных условий (7) будет иметь вид:

$$Q_1 = \frac{T_{1n} - T_1}{\frac{1}{\alpha_{1n}} + \frac{\delta_1}{2\lambda_1}}. \quad (14)$$

Уравнение теплового потока Q_2 , передаваемого от центра первого слоя толщиной $\delta_1/2$ к центру второго слоя толщиной $\delta_2/2$ с температурой в центре T_2 согласно (12) с учетом граничных условий (9) будет иметь вид:

$$Q_2 = \frac{T_1 - T_2}{\frac{\delta_1}{2\lambda_1} + \frac{\delta_2}{2\lambda_2}}. \quad (15)$$

Температура первого слоя в момент времени t запишется в виде:

$$T_1^t = T_1^{t-1} + \frac{Q_1 - Q_2}{C_1 \rho_1 \delta_1}. \quad (16)$$

Тепловой баланс второго, третьего и четвертого слоев составляется аналогично первому слою.

Уравнение теплового потока Q_3 , передаваемого от центра второго слоя толщиной $\delta_2/2$ к центру третьего слоя толщиной $\delta_3/2$ с температурой в центре T_3 с учетом граничных условий (10) будет иметь вид:

$$Q_3 = \frac{T_2 - T_3}{\frac{\delta_2}{2\lambda_2} + \frac{\delta_3}{2\lambda_3}}. \quad (17)$$

Температура в сечении второго слоя в момент отсчета t будет иметь вид:

$$T_2^t = T_2^{t-1} + \frac{Q_2 - Q_3}{C_2 \rho_2 \delta_2}. \quad (18)$$

Уравнение теплового потока Q_4 , передаваемого от центра третьего слоя толщиной $\delta_3/2$ к центру четвертого слоя толщиной $\delta_4/2$ с температурой в центре T_4 с учетом граничных условий (11) будет иметь вид:

$$Q_4 = \frac{T_3 - T_4}{\frac{\delta_3}{2\lambda_3} + \frac{\delta_4}{2\lambda_4}}. \quad (19)$$

Температура в сечении третьего слоя в момент отсчета t будет иметь вид:

$$T_3^t = T_3^{t-1} + \frac{Q_3 - Q_4}{C_3 \rho_3 \delta_3}. \quad (20)$$

Уравнение теплового потока $Q_{огр}$, передаваемого от центра четвертого слоя ограждения толщиной $\delta_4/2$ наружному воздуху окружающей среды с учетом граничных условий (8) запишем:

$$Q_{огр} = \frac{T_4 - T_{огр}}{\frac{\delta_4}{2\lambda_4} + \frac{1}{\alpha_{огр}}}. \quad (21)$$

Температуру в четвертом слое ограждения в момент времени t .

$$T_4^t = T_4^{t-1} + \frac{Q_4 - Q_{огр}}{C_4 \rho_4 \delta_4}. \quad (22)$$

Температуру на внутренней поверхности первого слоя ограждающей конструкции определяем с использованием граничных условий II рода (7). Уравнение теплового потока Q_{1n} , передаваемого воздухом помещения внутренней поверхностью ограждения, запишется в виде:

$$Q_{1n} = \alpha_{1n}(T_{1n} - T_{en}). \quad (23)$$

От внутренней поверхности ограждения к центру первого слоя:

$$q_1 = \frac{T_{en} - T_1}{\frac{\delta_1}{2\lambda_1}}. \quad (24)$$

Тепловые потоки $Q_{1n} = q_1 = Q_1$ вследствие граничных условий II рода (7).

Выражение для определения температуры на внутренней поверхности ограждения будет иметь вид:

$$T_{en} = T_1 + \frac{Q_1 \delta_1}{2\lambda_1}. \quad (25)$$

Для определения температуры на наружной поверхности ограждения используем граничные условия IV рода (11). Уравнение теплового потока от центра четвертого слоя ограждающей конструкции запишется в виде:

$$q_4 = \frac{T_4 - T_{нп}}{\frac{\delta_4}{2\lambda_4}}. \quad (26)$$

Тепловой поток от наружной поверхности окружающему воздуху:

$$Q_{en} = \alpha_{en} (T_{1n} - T_{нп}). \quad (27)$$

Тепловые потоки $Q_{en} = q_4 = Q_4$ вследствие граничных условий II рода (7). Поэтому можно подставить в (26) выражение (27), решив которое относительно $T_{нп}$, получим выражение для определения температуры на наружной поверхности ограждения:

$$T_{нп} = T_1 + \frac{Q_1 \delta_1}{2\lambda_1}. \quad (28)$$

Таким образом, получены выражения для определения температур на внутреннем и наружном слоях ограждения, а также для определения температуры каждого слоя. Для этого использованы зависимости коэффициента теплопроводности и теплосодержания от температуры.

Разработка математической модели расчета влажностного режима ограждающих конструкций

Процесс влагопередачи через четырехслойное ограждение здания происходит за счет паропроницаемости, т.е. переноса влаги, находящейся в паровой фазе, и за счет влагопроницаемости – переноса капельной влаги. Эти две составляющие процесса влагопередачи в материале происходят постоянно при увлажнении и высухании. Влагопередача подчиняется законам диффузии пара и влагопроводности в капиллярно-пористых телах [8]. Процесс влагопередачи через четырехслойное ограждение показан на рис. 3.

Паропроницаемость, аналогично нестационарному режиму теплопередачи, определяется паропроницаемостью и сорбцией-десорбцией материала [7-8].

Для каждого слоя четырехслойного ограждения дифференциальное уравнение диффузии пара в сорбирующей среде имеет вид:

$$\xi_1 \rho_1 \frac{\partial P_1}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\mu_1 \frac{\partial P_1}{\partial x} \right); \text{ для слоя I}$$

$$\xi_2 \rho_2 \frac{\partial P_2}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\mu_2 \frac{\partial P_2}{\partial x} \right); \text{ для слоя II}$$

$$\xi_3 \rho_3 \frac{\partial P_3}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\mu_3 \frac{\partial P_3}{\partial x} \right); \text{ для слоя III}$$

$$\xi_4 \rho_4 \frac{\partial P_4}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\mu_4 \frac{\partial P_4}{\partial x} \right); \text{ для слоя IV}$$

(29)

где μ – коэффициент паропроницаемости; ξ – удельная пароемкость материала, [г/кг·Па]; P – парциальное давление, [Па].

На границах II на стыке между первым и вторым слоями и III на стыке между вторым и третьим слоями задаются граничные условия IV рода, которые определяют равенство диффузионных потоков:

$$\mu_1 \frac{\partial P_1}{\partial x} = \mu_2 \frac{\partial P_2}{\partial x}, \quad P_1 = P_2;$$

$$\mu_2 \frac{\partial P_2}{\partial x} = \mu_3 \frac{\partial P_3}{\partial x}, \quad P_2 = P_3; \quad (30)$$

$$\mu_3 \frac{\partial P_3}{\partial x} = \mu_4 \frac{\partial P_4}{\partial x}, \quad P_3 = P_4.$$

Граничные условия не задаем на границах I и IV слоев, так как конвекция воздуха приводит к равномерному распределению влажности внутри объема при заданной температуре.

В процессе паропроницаемости материал сорбирует влагу, что повышает упругость водяных паров в его порах, а при уменьшении упругости происходит десорбция влаги.

Изменение влажности происходит быстро после изменения упругости пара в порах, в результате чего ограждающие конструкции обладают определенной влажностью, обусловленной сорбционными свойствами материала [5,6].

В результате диффузии пара через слои ограждения, относительная влажность изменяется от нуля до максимального гигроскопического значения. Увеличение влажности слоя ограждения приводит к образованию капельной влаги – конденсата. Перенос конденсата осуществляется за счет возникновения градиента влагопроводности в слое, аналогично уравнению (24), и определяется дифференциальным уравнением влагопроводности [7].

$$\rho \frac{\partial V}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left[\beta(W) \frac{\partial V}{\partial x} \right]. \quad (31)$$

где β – коэффициент влагопроводности влаги в материале слоя, определяющий интенсивность переноса влаги, [кг/м·с].

Коэффициент влагопроводности β определили экспериментальным путём [4]. На основе проведенных исследований было установлено, что значение β строительных материалов находится в линейной зависимости от влагосодержания материала. Более того, оказалось, что данную зависимость можно описать достаточно точным уравнением [9].

$$\beta = B_0 V + B_1, \quad (32)$$

где V – содержание капельной влаги в материале, %; B_0, B_1 – константы, зависящие от вида материала.

Уравнение (30) для каждого слоя четырехслойного ограждения запишется:

$$\begin{aligned} \rho_1 \frac{\partial V_1}{\partial t} &= \frac{\partial}{\partial x} \left[\beta_1(W) \frac{\partial V_1}{\partial x} \right] \quad \text{для I слоя} \\ \rho_2 \frac{\partial V_2}{\partial t} &= \frac{\partial}{\partial x} \left[\beta_2(W) \frac{\partial V_2}{\partial x} \right] \quad \text{для II слоя} \\ \rho_3 \frac{\partial V_3}{\partial t} &= \frac{\partial}{\partial x} \left[\beta_3(W) \frac{\partial V_3}{\partial x} \right] \quad \text{для III слоя} \\ \rho_4 \frac{\partial V_4}{\partial t} &= \frac{\partial}{\partial x} \left[\beta_4(W) \frac{\partial V_4}{\partial x} \right] \quad \text{для IV слоя} \end{aligned} \quad (33)$$

Используя граничные условия IV рода на границе II и III, определили равенство переноса капельной жидкости:

$$\beta_1 \frac{\partial V_1}{\partial x} \Big|_n = \beta_2 \frac{\partial V_2}{\partial x} \Big|_n, \quad V_1 \Big|_n = V_2 \Big|_n \quad (34)$$

$$\beta_2 \frac{\partial V_2}{\partial x} \Big|_m = \beta_3 \frac{\partial V_3}{\partial x} \Big|_m, \quad V_2 \Big|_m = V_3 \Big|_m \quad (35)$$

Используя выражения 29–35, нами рассмотрены влажностные режимы каждого слоя.

Тогда с учётом граничных условий, уравнение диффузионного потока пара из помещения к центру первого слоя будет иметь вид:

$$G_{in1} = 2\mu_1 \frac{(P_{in} - P_1)2}{\delta_1} \quad \text{или} \quad (36)$$

$$G_{in1} = 2\mu_1 \frac{(P_{in} - P_1)2}{\delta_1 / 2\mu_1},$$

где P_{in}, P_1 – парциальное давление в помещении и в центре первого слоя, соответственно.

С учётом граничных условий, уравнение диффузионного потока пара из центра первого слоя к центру второго слоя будет иметь вид:

$$G_{out1} = 2\mu_1 \frac{(P_1 - P_2)}{\frac{\delta_1}{2\mu_1} + \frac{\delta_2}{2\mu_2}}. \quad (37)$$

Уравнение потока капельной влаги g_{in1} , направленного к центру первого слоя ограждения толщиной $\delta_1/2$ с влагосодержанием в центре V_1 в соответствии с (34) будет иметь вид:

$$g_{in1} = \beta_1 \frac{V_1}{\frac{\delta_1}{2}} \quad \text{или} \quad (38)$$

$$g_{in1} = \frac{V_1}{\frac{\delta_1}{2\beta_1}}.$$

Уравнение потока капельной влаги g_{out1} , направленного от центра первого слоя ограждения толщиной $\delta_1/2$ с влагосодержанием в центре V_1 к центру второго слоя ограждения толщиной $\delta_2/2$ с влагосодержанием в центре V_2 :

$$g_{out1} = \frac{(V_1 - V_2)}{\frac{\delta_1}{2\beta_1} + \frac{\delta_2}{2\beta_2}}. \quad (39)$$

Общий приток влаги, поступающей как через диффузию, так и через капельную форму, будет равен:

$$G_1 = dW_{S1} = G_{in} - G_{out} + g_{in} - g_{out}. \quad (40)$$

При прохождении влаги через первый слой материала происходит её сорбция.

Сорбционная влажность материалов конструкции зависит от изменения относительной влажности на данном слое, которая определяется парциальным давлением воздуха в порах материала. Величина парциального давления водяного пара в насыщенном воздухе $P_{н.п.}$ зависит от температуры воздуха T . При увеличении температуры парциальное давление также увеличивается и может быть определено с помощью диаграмм или таблиц, полученных экспериментально¹. Данная зависимость имеет нелинейный характер и может быть описана полиномом третьей степени с достаточной точностью.

$$P_{н.п.} = 0,0215T_{in}^3 + 1,70T_{in}^2 + 48,08T_{in} + 613 \quad (41)$$

Влажностное состояние воздуха характеризуется относительной влажностью $\varphi, \%$, которая согласно закону Бойля-Мариотта определяется через соотношение между фактическим количеством влаги в воздухе и максимальным количеством влаги, которое может содержаться при данной температуре:

$$\varphi = \frac{P_{in}}{P_{н.п.}}, \quad (42)$$

где P_{in} – парциальное давление воздуха, Па.

Определять математические модели расчета парциального давления и относительной влажности в сечении материальных слоев конструкции можно с использованием физических законов, уравнений состояния вещества и экспериментальных данных. Важно учесть влияние различных факторов, таких как температура, влажность, давление и свойства материалов, на полученные значения. Таким образом, создание точной математической модели позволит нам более реалистично оценить сопротивление теплопередаче ограждающей конструкции при учете фактической влажности материальных слоев.

Количество сорбируемой материалом первого слоя влаги будет определяться выражением:

$$W_{S1} = A_1\varphi_1 + A_2\varphi_1^2 + A_3\varphi_1^3, \quad (43)$$

Значение относительной влажности в сечении первого слоя в момент времени t определим по формуле:

$$\varphi_1 = \varphi_1^{(t-1)} + \frac{G_{in1} - G_{out1} + g_{in1} - g_{out1}}{A_1 + 2A_1\varphi_1 + 3A_1\varphi_1^2}, \quad (44)$$

где $\varphi^{(t-1)}$ – относительная влажность в сечении первого слоя на предыдущем времени расчета в момент времени $(t-1)$.

Таким образом, для первого слоя ограждающей конструкции в каждый момент времени температура T_1 определяется по выражению 16. Эта температура определяет значение давления насыщенных паров в сечении слоя P_{in} :

$$P_{н.п.1} = 0,0215T_1^3 + 1,70T_1^2 + 48,08T_1 + 613 \quad (45)$$

Относительная влажность на слое φ_1 , полученная из (44) определяет по выражению (42) значение парциального давления в сечении слоя P_1 :

$$P_1 = \varphi_1 P_{н.п.} = \varphi_1 (0,0215T_1^3 + 1,70T_1^2 + 48,08T_1 + 613) \quad (46)$$

При рассмотрении влажностного баланса второго, третьего и четвертого слоев ограждающей конструкции получили аналогичные выражения для определения относительной влажности в сечениях слоев в момент времени t .

Для второго слоя

$$\varphi_2 = \varphi_2^{(t-1)} + \frac{G_{in2} - G_{out2} + g_{in2} - g_{out2}}{A_2 + 2A_2\varphi_2 + 3A_2\varphi_2^2} \quad (47)$$

Для третьего слоя

$$\varphi_3 = \varphi_3^{(t-1)} + \frac{G_{in3} - G_{out3} + g_{in3} - g_{out3}}{A_3 + 2A_3\varphi_3 + 3A_3\varphi_3^2} \quad (48)$$

Для четвертого слоя

$$\varphi_4 = \varphi_4^{(t-1)} + \frac{G_{in4} - G_{out4} + g_{in4} - g_{out4}}{A_4 + 2A_4\varphi_4 + 3A_4\varphi_4^2} \quad (49)$$

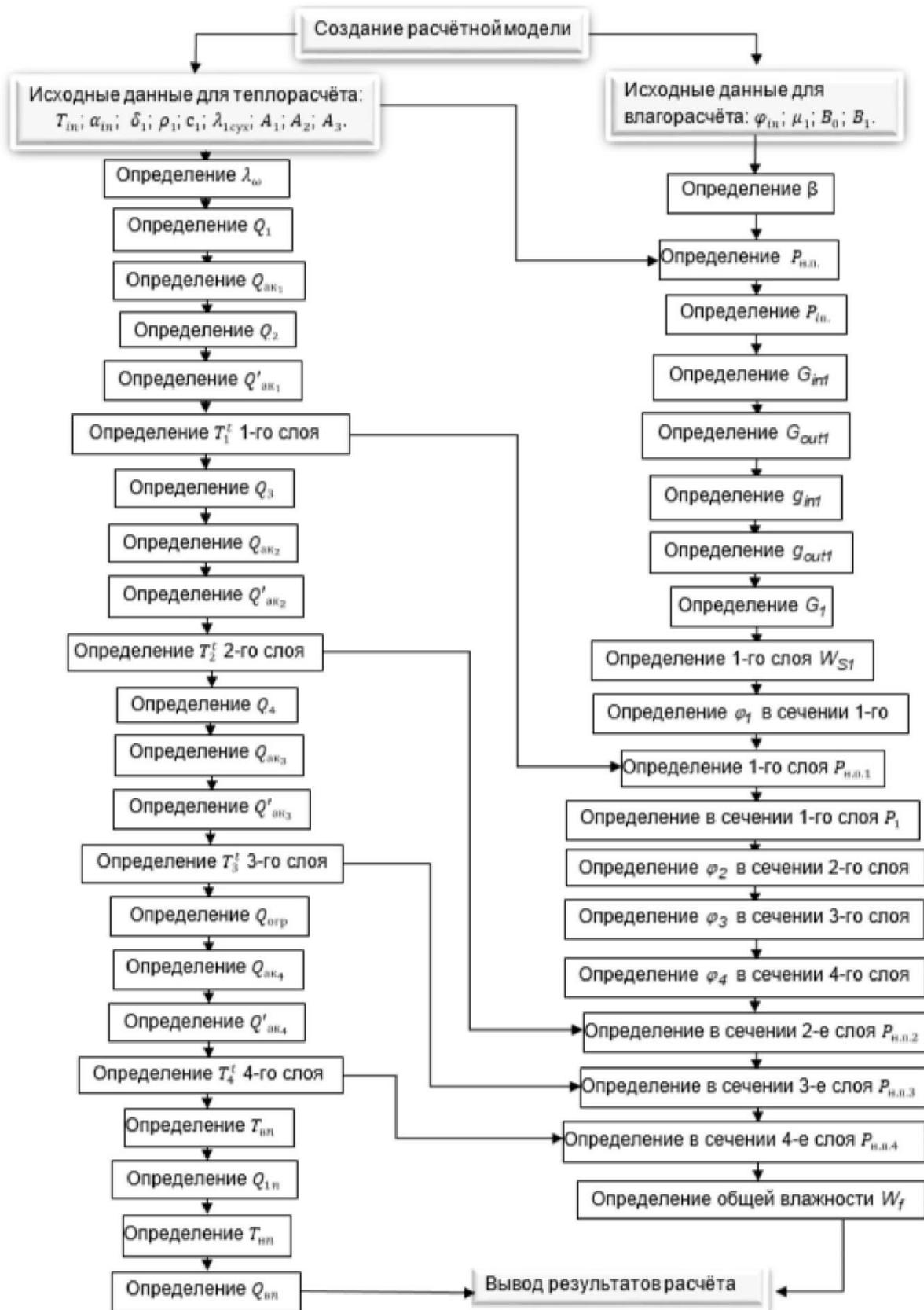


Рис. 4. Блок-схема алгоритма расчёта нестационарного режима тепло- и влагопереноса ограждающих конструкций

Аналогично, как для первого слоя (46) определяются значения давления насыщенных паров в сечениях второго, третьего и четвертого слоев.

Для второго слоя:

$$P_{H2} = 0,0215T_2^3 + 1,70T_2^2 + 48,08T_2 + 613 \quad (50)$$

Для третьего слоя:

$$P_{H3} = 0,0215T_3^3 + 1,70T_3^2 + 48,08T_3 + 613 \quad (51)$$

Для четвертого слоя:

$$P_{H4} = 0,0215T_4^3 + 1,70T_4^2 + 48,08T_4 + 613 \quad (52)$$

Общую влажность определяем по формуле

$$W_f = W_f^{t-1} + G, \quad (53)$$

где W_f^{t-1} – общая влажность каждого материального слоя в момент времени t ;

G – общий приток влаги, изменяющий влажность слоя.

На основе приведенных соотношений приведена блок-схема алгоритма расчёта нестационарного режима тепло- и влагопереноса ограждающих конструкций на рис. 4.

Заключение

Для определения сопротивления теплопередаче многослойных ограждающих конструкций с учётом влажности утеплителей предложена математическая модель нестационарного тепло- и влагопереноса с учётом влажности материалов со временем. Она позволяет моделировать условия эксплуатации, которые максимально приближены к реальным. Также проведено исследование теплофизических свойств утеплителей IZOVOL, ТЕХНОФЛОР ПРОФ ПЕНОПЛЕКС КОМФОРТ, применяемых в г. Луганске при реконструкции и новом строительстве. Для этих теплоизоляционных материалов построены изотермы сорбции. Получены фактические теплофизические характеристики утеплителей с учётом изменяющейся влажности слоев ограждающей конструкции в процессе эксплуатации.

Список литературы

1. Колосова А. С., Пикалов Е. С. Современные эффективные теплоизоляционные материалы на неорганической основе // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2020. № 9. С. 64–75.

2. Техничко-экономическое обоснование мероприятий по утеплению наружных стен жилого многоквартирного здания с устройством вентилируемого фасада / Д. В. Немова, А. С. Горшков, Н. И. Ватин [и др.] // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2014. № 11 (26). С. 70–84.

3. Техничко-экономическое обоснование утепления фасадов при реновации жилых зданий первых массовых серий / Н. И. Ватин, Д. Н. Цейтин, Д. В. Немова [и др.] // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2016. № 40. С. 20–31.

4. Шильд Е. Строительная физика. М.: Стройиздат, 1988. 96 с.

5. Фокин К. Ф. Строительная теплотехника ограждающих частей зданий. М.: АВОК-ПРЕСС, 2006. 256 с.

6. Богословский В. Н. Строительная теплофизика. М.: АВОК Северо-Запад, 2006. 400 с.

7. Петров А. А. Техническая термодинамика и теплопередача. СПб.: Лань, 2023. 428 с.

8. Лыков А. В. Тепломассообмен. М.: Энергия, 1978, 560 с.

9. Рубашкина Т. И. Теоретические исследования нестационарных влагофизических процессов в ограждающих конструкциях зданий // Вестник Восточно-Сибирского государственного университета технологий и управления. 2017. № 2. С. 24–29.

References

1. Kolosova A. S., Pikalov E. S. Sovremennye effektivnie teploizolyacionnie materialy na neorganicheskoj osnove [Modern effective thermal insulation materials on an inorganic basis] *Mejdunarodnii jurnal prikladnih i fundamentalnih issledovanii*, 2020, issue 9, pp. 64–75.

2. Tehniko-ekonomicheskoe obosnovanie meropriyatii po utepleniyu narujnih sten jilogo mnogokvartirnogo zdaniya s ustroystvom ventiliruемого fasada [Feasibility study of measures to insulate the exterior walls of a residential apartment building with a ventilated façade] / D. V. Nemova, A. S. Gorshkov, N. I. Vatin [et al.]. *Stroitelstvo unikalnih zdanii i sooruzenii*, 2014, vol. 11 (26), pp. 70–84.

3. Tehniko-ekonomicheskoe obosnovanie utepleniya fasadov pri renovacii jilih zdanii pervih massovih serii [Feasibility study of facade insulation during renovation of residential buildings of the first mass series] / N. I. Vatin, D. N. Tseitin, D. V. Nemova [et al.]. *Stroitelstvo unikalnih zdanii i sooruzenii*, 2016, issue 40, pp. 20–31.

4. Schild E. *Stroitel'naya fizika* [Construction physics]. Moscow: Stroyizdat, 1988. 96 p.

5. Fokin K. F. *Stroitel'naya teplo tehnika ograjdayuschih chastei zdanii* [Construction thermal engineering of enclosing parts of buildings]. Moscow: AVOK-PRESS, 2006. 256 p.

6. Bogoslovsky V. N. *Stroitel'naya teplofizika* [Construction thermophysics]. Moscow: AVOK North-West, 2006. 400 p.

7. Petrov A. A. *Tehnicheskaya termodynamika i teploperedacha* [Technical thermodynamics and heat transfer]. SPb.: Lan, 2023. 428 p.

8. Lykov A. V. *Teplomassoobmen* [Heat and mass transfer]. Moscow: Energiya 1972, 560 p.

9. Rubashkina T. I. Teoreticheskie issledovaniya nestacionarnih vlagofizicheskikh processov v ograjdayuschih konstrukciyah zdanii [Theoretical studies of unsteady moisture-physical processes in enclosing structures of buildings] *Vestnik Vostochno-Sibirskogo gosudarstvennogo universiteta tehnologii i upravleniya*, 2017, issue 2, pp. 24–29.

Малыгина Оксана Александровна

ФГБОУ ВО «Луганский государственный университет имени Владимира Даля»

Российская Федерация, г. Луганск

Старший преподаватель кафедры

E-mail: oksalita@mail.ru

Malygina Oksana Alexandrovna

Luhansk State University named after Vladimir Dahl

Russian Federation, Lugansk

Senior lecturer of the Department

E-mail: oksalita@mail.ru

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

УДК 614.842, 621.398

**МОДЕЛИ И АЛГОРИТМЫ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ УПРАВЛЕНЧЕСКИХ
РЕШЕНИЙ ПРИ РЕАГИРОВАНИИ НА ПОЖАР В ГОРОДСКОЙ СРЕДЕ**

А. А. АПАРИН

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

В данной статье представлены результаты исследования, посвященного практико-ориентированным моделям и алгоритмам поддержки принятия управленческих решений, разработанным для развития информационного обеспечения организационной системы, в которой формализовано управление оперативным реагированием на пожар в городской среде.

Ключевые слова: поддержка принятия решений, реагирование на пожар, средства видеомониторинга, городская среда, оптимизация процесса управления.

**MODELS AND ALGORITHMS FOR SUPPORTING MANAGEMENT DECISION-MAKING
IN RESPONDING TO A FIRE IN AN URBAN ENVIRONMENT**

A. A. APARIN

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

This article presents the results of a study on practice-oriented models and algorithms for supporting managerial decision-making, designed to develop information support for an organizational system that manages rapid response to a fire in an urban environment.

Key words: decision support, fire response, video monitoring tools, urban environment, optimization of the management process.

На размер материального ущерба от пожаров, произошедших в городской среде, может оказывать действие ряд факторов. Одним из таких факторов является «время прибытия первого пожарного подразделения в городах». Анализ официальных статистических данных о пожарах в Российской Федерации за 2017–2021 годы показывает, что для Центрального, Северо-Западного, Сибирского и Дальневосточного федеральных округов Российской Федерации характерна средняя корреляционная связь между параметрами «время прибытия первого пожарного подразделения в городах» и «количество погибших» (рис. 1).

Согласно официальным статистическим данным в городе Москве за последние пять лет наблюдается увеличение плотности населения (рис. 2).

Динамика, представленная на рис. 2 сопровождается увеличением количества частных автомобилей у жителей города (рис. 3), что стимулирует организацию стихийных автопарковок на территории дворов жилых зданий. В частности, это может быть связано с тем, что далеко не все частные автомобили ежедневно¹ выезжают на городские дороги.

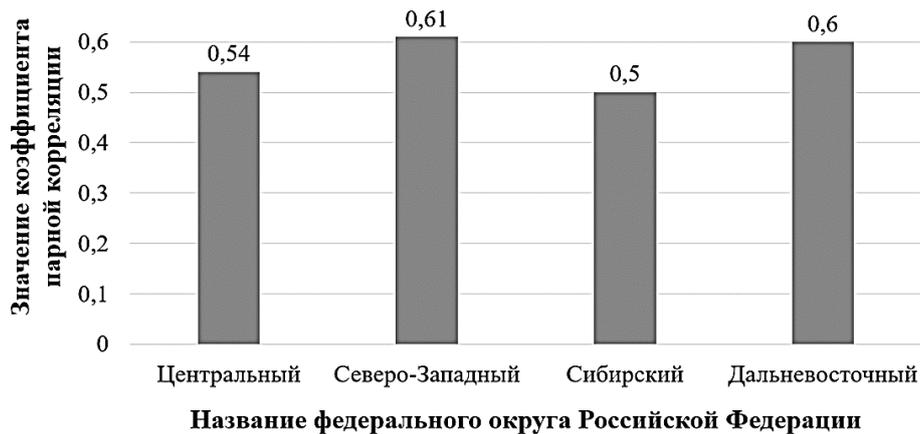


Рис. 1. Корреляционный анализ показателей «время прибытия первого пожарного подразделения в городах» и «количество погибших» (статистика пожаров за 2017–2021 гг.) [1–2]

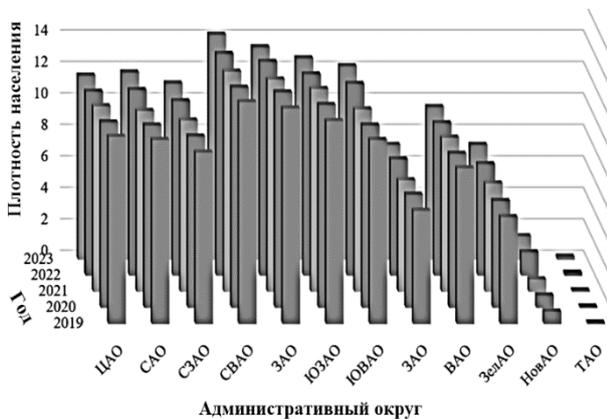


Рис. 2. Динамика увеличения плотности населения в Москве (по административным округам; тыс. человек на кв. км)²

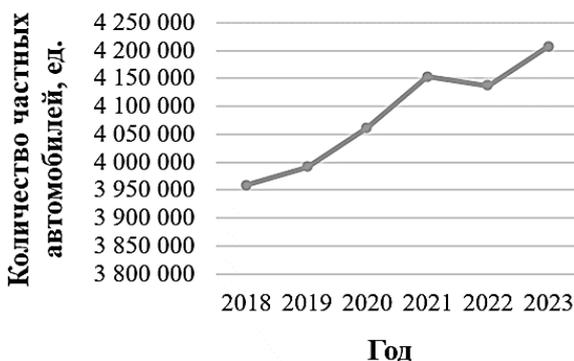


Рис. 3. Динамика увеличения количества частных автомобилей в Москве³

Согласно комментарию к правилам дорожного движения⁴ дворовую территорию трактуют как «пространство между жилыми зданиями или ограниченное по периметру зданиями». Проиллюстрированные графиками на рис. 2–3 факты в ряде случаев объясняют причины, по которым бывает затруднено продвижение первого прибывающего к месту пожара отделения (отделений) на основном пожарном автомобиле – автоцистерне (АЦ) и увеличивает время свободного развития пожара. Установлено, что такая ситуация, является нередкой. По данным анализа опубликованных новостей в средствах массовой информации (СМИ) за период с января 2019 по август 2024 года, известно о более чем 120 случаях, когда первое прибывшее отделение на АЦ столкнулось с проблемами продвижения к месту пожара по дворовой территории (рис. 4).

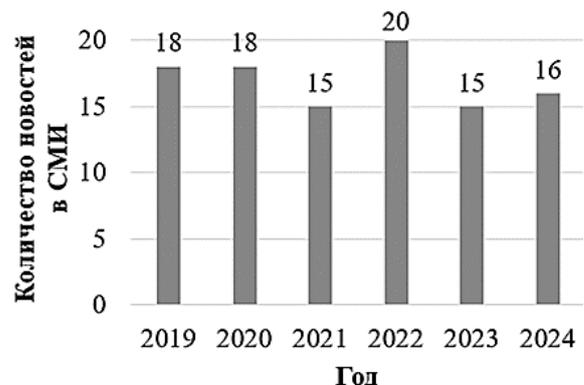


Рис. 4. Количество сообщений в СМИ о затруднении продвижения первого отделения пожарной охраны на АЦ к месту пожара

² Москва в цифрах 2023. Краткий статистический сборник/ МОССТАТ. М., 2024. 137 с.

³ <https://fedstat.ru/?ysclid=m1ad23ar6577411201>

⁴ <http://base.garant.ru/58085707/>

Тенденции развития систем обеспечения безопасности современных городов, задаваемые в том числе Концепцией⁵ построения в Российской Федерации аппаратно-программного комплекса «Безопасный город» стимулируют экстенсивность развития сетей систем видеонаблюдения (средств видеомониторинга) в городской среде. В Российской Федерации установлено около 1 млн⁶ средств видеомониторинга, используемых для обеспечения безопасности (из них более 0,2 млн в городе Москве и около 0,1 млн в городе Санкт-Петербурге).

Таким образом установлено, что имеет место быть формирование значительного ресурса технических средств мониторинга, которые могут обеспечить центр управления (управляющую подсистему) организационной системы, в которой формализовано управление, оперативным реагированием на пожар в городской среде (ОС), дополнительной информацией – видеoinформацией.

Важно отметить, что данную информацию центр управления ОС имеет возможность получить до прибытия первых сил и средств подразделений пожарной охраны на место пожара. Изучение центром системы управления оперативной видеoinформации, поступающей от средств видеомониторинга в режиме реального времени, позволяет идентифицировать в объективной действительности события и явления, которые присутствуют на месте пожара и препятствуют проведению боевых действий по тушению пожаров (прибытию к месту пожара и боевому развертыванию сил и средств).

В статье рассматривается поддержка принятия управленческих решений при реагировании на пожар в городской среде. Согласно ГОСТ⁷, городская среда – это «совокупность территориально выраженных природных, архитектурно-планировочных, экологических, социально-культурных и других факторов, характеризующих среду обитания в муниципальных образованиях (в том числе в сельских поселениях) и определяющих комфортность проживания на такой территории».

Установлено, что одной из основных задач поддержки принятия управленческих решений для центра управления ОС является минимизация времени $t_i^{упр.}$ (формула 1), затра-

ченного на осуществление целенаправленного изменения состояния управляемой подсистемы (силами и средствами подразделений пожарной охраны местного пожарно-спасательного гарнизона (ПСГ), задействованными и незадействованными по отношению к конкретному пожару).

$$t_i^{упр.} \rightarrow \min\{T_{доп.}^{упр.}\}, t_i^{упр.} = t_{вериф.} + t_i^{форм.у.р.}, \quad (1)$$

где i – идентификатор управленческой альтернативы, $i = 1, 2, \dots, i'$;

$T_{доп.}^{упр.}$ – множество допустимых управлений;

$t_{вериф.}$ – время, затраченное на верификацию сложности обстановки, складывающейся на месте пожара (оптимизируемый параметр 1);

$t_i^{форм.у.р.}$ – время, затраченное на формализацию управленческого решения в ОС (оптимизируемый параметр 2).

То есть, требуется оптимизировать относительно минимального гарантированного результата (функционирование центра управления ОС без поддержки принятия управленческих решений) абсолютное время, затраченное в ОС от момента принятия решения о первоначальной высылке сил и средств подразделений пожарной охраны по сообщению о пожаре (согласно Расписанию выезда) до момента окончания прокладки магистральной линии первым прибывшим отделением на АЦ к месту пожара (или до момента состояния готовности к подаче первого ствола на тушение без прокладки магистральной линии). Оптимизируемый параметр $t_i^{форм.у.р.}$ рассматривается в рамках выполнения условия $t_{вериф.} < t_i^{форм.у.р.}$. Причем, предполагается, что чем меньше $t_{вериф.}$, тем меньше и $t_i^{форм.у.р.}$. То есть, ранняя верификация сложности обстановки (оптимизация значения параметра $t_{вериф.}$), складывающейся на месте пожара, стимулирует оптимизацию значения параметра $t_i^{форм.у.р.}$.

Однако для формализации такого стимулирования необходима разработка рационального подхода к принятию решений [3]. Элементы рационального подхода могут быть математически описаны в виде моделей и алгоритмов поддержки принятия управленческих решений и практически реализованы в виде программ для электронно-вычислительных машин, баз данных и специфических рекомендаций.

Далее рассматривается оптимизация времени, затрачиваемого в ОС на верификацию сложности обстановки, складывающейся на месте пожара (параметра $t_{вериф.}$). В данной

⁵ Распоряжение Правительства РФ от 3 декабря 2014 г. № 2446-р «О Концепции построения и развития аппаратно-программного комплекса «Безопасный город».

⁶ <https://www.gazeta.ru/tech/news/2024/03/13/22538371.shtml?ysclid=m19b5noh8y783962754>.

⁷ ГОСТ Р 70386-2022 Комплексное благоустройство и эксплуатация городских территорий. Определения, основные требования и процессы, М., 2022.

работе оптимизация параметра $t_{\text{вериф.}}$ достигается за счет сокращения времени, требующегося центру управления ОС для поиска наиболее подходящих в конкретной ситуации средств видеомониторинга, расположенных на территории муниципального образования (местного ПСГ). Разработаны модель и алгоритм информационной поддержки принятия решений. Модель M_1 задана кортежем (2). Допустимое ограничение модели M_1 задано условием (3).

$$M_1 = (N_{\text{КВ}}^{\text{ПСГ}}; W; t_{\text{вериф.}}; J_{M_1}), \quad (2)$$

$$t_2 < t_{\text{вериф.}} \ll t_3, \quad (3)$$

где W – множество критериев модели M_1 , используемых центром системы управления ОС для автоматизированного формирования выборки средств видеомониторинга (рис. 5);

J_{M_1} – целевой функционал модели;

t_2 и t_3 – моменты времени выезда и прибытия первых сил и средств подразделений пожарной охраны к месту пожара соответственно. Модель является адаптируемой к специфике различных местных ПСГ и является открытой для внедрения дополнительных критериев анализа. На данный момент, предложен следующий набор критериев.

Критерий $W_1 \in W$ – ракурс средства видеомониторинга относительно места пожара; критерий $W_2 \in W$ – расстояние от места установки видеомониторинга до места пожара по прямой линии; критерий $W_3 \in W$ – высота установки средства видеомониторинга относительно поверхности земли. Дополнительно, для упрощения визуального восприятия и уменьшения времени, требующегося для поиска оптимального средства видеомониторинга (соответственно и оптимизации параметра $t_{\text{вериф.}}$) разработаны условные графические обозначения камер видеонаблюдения, предназначенные для интеграции в картографический сервис, используемый должностными лицами оперативной дежурной смены Центра управления в кризисных ситуациях [4].

Алгоритм (рис. 5), определяющий принцип функционирования модели M_1 , при его практической реализации в виде программного модуля системы поддержки принятия решений, не предполагает увеличения трудозатрат для лиц (лица, принимающие решения (ЛПР): диспетчер гарнизона, диспетчерский состав оперативной дежурной смены Центра управления в кризисных ситуациях), выполняющих операцию поиска средств видеомониторинга, расположенных на территории муниципального об-

разования (местного ПСГ), а наоборот – предполагает упрощение деятельности ЛПР.

Применяя алгоритм информационной поддержки принятия решений, (в виде программной реализации) ЛПР, по результатам многокритериального анализа множества всех доступных средств видеомониторинга установленных на территории местного ПСГ, получает ранжированный список приоритетных средств видеомониторинга, видеотрансляцию (поток видеoinформации в режиме реального времени с места пожара) от которых предлагается в первую очередь изучить на раннем этапе реагирования на пожар. Результаты анализа визуализируются для ЛПР в графическом пользовательском интерфейсе программной реализации как ранжированным списком, так и в картографическом сервисе.



Рис. 5. Алгоритм информационной поддержки принятия решений для оптимизации параметра 1 (формула 1)

Таким образом показан один из возможных способов уменьшения времени, требующегося для верификации сложности обстановки, складывающейся на месте пожара, при оперативной работе со средствами видеомониторинга.

Далее рассмотрена оптимизация времени (параметр $t_i^{\text{форм.у.р.}}$), затрачиваемого на формализацию управленческого решения в ОС. В ходе проведения теоретического и практического изучения потенциала применения потока видеoinформации для поддержки принятия управленческих решений при организации реагирования на пожар в городской среде, были сформированы два множества: ZP – множество элементов, характеризующих степень затруднения проезда во дворах жилых домов (формально: скорость движения АЦ на участке дворовой территории v_{ZP} , м/с); F – множество факторов объективной действительности, влияющих на замедление продвижения к месту пожара первого прибывающего отделения (отделений) на АЦ во дворах жилых домов. Элементы множеств ZP и F выявляются ЛПР при изучении потока видеoinформации, поступающего в режиме реального времени с места пожара. Для оценки негативного воздействия выявленных обстоятельств и формирования основы для принятия решения о необходимости привлечения к месту пожара дополнительных сил и средств подразделений пожарной охраны на раннем этапе организации реагирования разработаны модель (формула 4) и алгоритм информационной поддержки.

$$M_2 = (ZP, F, N_{\text{отд.}}, N_{\text{отд.}}^{\text{л.с.}}, t_{\text{б.р.}}^{\text{прогн.}}, t_{\text{движ.}}^{\text{прогн.}}, t_{\text{пр.реш.}}, t_i^{\text{форм.у.р.}}), (4)$$

где $N_{\text{отд.}}$ – количество высланных отделений подразделений пожарной охраны к месту пожара;

$N_{\text{отд.}}^{\text{л.с.}}$ – количество личного состава в каждом из прибывших отделений;

$t_{\text{б.р.}}^{\text{прогн.}}$ – прогноз времени проведения боевого развертывания (полного развертывания магистральной рукавной линии, с);

$t_{\text{движ.}}^{\text{прогн.}}$ – прогноз времени движения первой АЦ во дворах жилых домов, с;

$t_{\text{пр.реш.}}$ – время, затраченное на принятие решения: $t_{\text{вериф.}} < t_{\text{пр.реш.}} \ll t_3$.

Был проведен анализ видеозаписей, имеющихся в открытом доступе сети интернет, на которых представлен процесс следования первого отделения на АЦ к месту пожара по дворовым территориям. Выявлено что каждый из элементов множеств ZP и F определенным образом влияет на время, затраченное для продвижения по дворовой территории к месту пожара. Элементы множества ZP определяют на сколько сильно сужены из-за стихийной автостоянки частных автомобилей подъездные пути к объекту пожара (таким образом, модель

M_2 определяет ожидаемую скорость движения по прямому участку дворовой территории – в расчете на длину участка дворовой территории, определяет ожидаемое время, за которое отделение на АЦ проедет данный участок).

Элементы множества (факторы) F («частные автомобили, припаркованные с одной или с двух сторон на повороте перед проездом к месту пожара»; «частные легковые и внедорожные автомобили, оставленные непосредственно на подъездных путях к месту пожара»; «закрытые ворота или шлагбаумы перед въездом во двор») требуют также определенных затрат времени для их преодоления $t_{\text{преод.}}(\cdot)$. Данное значение может являться зависимым от количества личного состава, прибывшего одновременно в составе первых отделений. Эта связь образуется за счет того, что в ряде случаев преодоление действия некоторых факторов F происходит путем устранения преград на пути движения пожарного автомобиля при помощи физической силы личного состава отделений пожарной охраны.

Модель M_2 формализована алгоритмом (рис. 6), который позволяет ЛПР на ранней стадии организации реагирования на пожар, осуществить имитационное моделирование, на основе которого ЛПР определяет оптимальный вариант продвижения по дворовым территориям первого отделения пожарной охраны на АЦ, в зависимости от обеспеченного количества одновременно прибывших на место пожара первых сил и средств. Альтернативный вариант прогнозируемого времени, которое потребуется для продвижения первого прибывающего отделения на АЦ к месту пожара по дворовой территории представлен формулой 5.

$$t_j^i = t_{\text{б.р.}}^{\text{прогн.}} + l_{\text{движ.}} \cdot v_{ZP} + t_{\text{преод.}}(F), (5)$$

где $l_{\text{движ.}}$ – длина участка дворовой территории, который проедет отделение на АЦ.

Программная реализация модели и алгоритма [5] позволяет сформировать несколько вариантов альтернатив (формула 5). Значение t_j^i зависит от выбранного варианта продвижения к месту пожара j (различные комбинации длины прокладываемой магистральной линии и длины участка дворовой территории, который проедет отделение на АЦ) и от количества личного состава, прибывшего одновременно в составе первых отделений.

Количество личного состава играет важную роль, так как $t_{\text{б.р.}}^{\text{прогн.}}$ и $t_{\text{преод.}}(F)$ являются функциями, вычисление значения которых зависит от данного параметра.



Рис. 6. Алгоритм информационной поддержки принятия управленческого решения для оптимизации параметра 2 (формула 1)

Поэтому, после выявления при помощи анализа потока видеoinформации критического значения τ_j^i , ЛПР (например, диспетчер гарнизона на этапе следования к месту пожара первых сил и средств) вправе обеспечить привлечение дополнительных отделений пожарной охраны к месту пожара. Однако необходимо стремиться к ситуации, когда количество

личного состава $\sum_1^i N_{отд.i}^{л.с.}$, которое необходимо для минимизации τ_j^i , прибыло к месту пожара одновременно (в составе первых прибывших отделений). Для повышения вероятности реализации такого управления в ОС (при котором $t_1^{форм.у.р.} \rightarrow \min$), была произведена оптимизация по параметру $t_{вериф.}$.

В статье представлены практико-ориентированные модели и алгоритмы поддержки принятия управленческих решений, которые позволяют центру управления ОС:

1) уменьшить время поиска наиболее подходящего в конкретной ситуации средства видеомониторинга, что обеспечивает формирование тактического резерва времени для реализации на раннем этапе организации реагирования иных компонентов процесса управления;

2) определить на раннем этапе организации реагирования на пожар срочную потребность принятия управленческого решения о необходимости привлечения дополнительных сил и средств подразделений пожарной охраны.

Своевременное принятие верного решения позволяет минимизировать абсолютное время, которое будет затрачено от момента принятия решения о первоначальной высылке сил и средств подразделений пожарной охраны по сообщению о пожаре (согласно Расписанию выезда) до момента окончания прокладки магистральной линии первым прибывшим отделением (отделениями) на АЦ к месту пожара (или до момента состояния готовности к подаче первого ствола на тушение без прокладки магистральной линии).

Список литературы

1. Пожары и пожарная безопасность в 2022 году: статистический сборник. Балашиха: ФГБУ ВНИИПО МЧС России, 2023. 80 с.
2. Штерензон В. А., Худякова С. А., Шпаньков А. В. Влияние показателей оперативного реагирования и тушения пожаров на показатели обстановки с пожарами // Техносферная безопасность. 2023. № 4(41). С. 71–89.
3. Бурькин Е. С. Подходы к принятию оптимального управленческого решения: рациональный и интуитивный // Вестник Московского университета им. С. Ю. Витте. Серия 1: Экономика и управление. 2022. № 2 (41). С. 74–80. DOI: 10.21777/2587-554X-2022-2-74-80.

4. Свидетельство Роспатента о государственной регистрации базы данных RU 2024620419 Условные графические обозначения камер видеонаблюдения, предназначенные для интеграции в картографический сервис, используемый должностными лицами оперативной дежурной смены Центра управления в кризисных ситуациях / А. А. Апарин, Д. В. Тараканов, А. О. Семенов. Заявл. 15.01.2024; опубл. 25.01.2024, Бюл. № 2

5. Свидетельство Роспатента о государственной регистрации программы для ЭВМ RU 2024681047 Имитационное моделирование времени движения по внутривортовой территории первого прибывающего к месту пожара отделения на автоцистерне / А. А. Апарин, Д. В. Тараканов, А. О. Семенов. Заявл. 29.08.2024; опубл. 04.09.2024, Бюл. № 9

References

1. *Pozhary i pozharnaya bezopasnost' v 2022 godu: statisticheskiy sbornik* [Fires and Fire Safety in 2022: Statistical Digest]. Balashiha: FGBU VNIPO MChS Rossii, 2023. 80 p.

2. Shterenzon V. A., Khudyakova S. A., Shpankov A. V. Vliyanie pokazatelej operativnogo reagirovaniya i tusheniya pozharov na pokazateli obstanovki s pozharami [Influence of indicators of operational response and fire extinguishing on indicators of the fire situation]. *Texnosfernaya bezopasnost'*, 2023, vol. 4 (41), pp. 71–89.

3. Bury'kin E. S. Podxody` k prinyatiyu optimal'nogo upravlencheskogo resheniya: racional'nyj i intuitivnyj [Approaches to making optimal management decisions: rational and intuitive]. *Vestnik Moskovskogo universiteta im. S. Yu. Vitte. Seriya 1: E'konomika i upravlenie*, 2022, vol. 2 (41), pp. 74–80. DOI: 10.21777/2587-554X-2022-2-74-80.

4. Aparin A. A., Tarakanov D. V., Semenov A. O. Svidetel'stvo Rospatenta o gosudarstvennoj reg-istracii programmy` dlya E`VM RU № 2024620419 Uslovny'e graficheskie oboznacheniya kamer videonablyudeniya, prednaznachenny'e dlya integracii v kartograficheskij servis, ispol`zuemyj dolzhnostny`mi liczami operativnoj dezhurnoj smeny` Centra upravleniya v krizisny`x situacijax [Conventional graphic symbols for video surveillance cameras intended for integration into the mapping service used by officials of the operational duty shift of the Crisis Management Center], byulleten № 2.

5. Aparin A. A., Tarakanov D. V., Semenov A. O. Svidetel'stvo Rospatenta o gosudarstvennoj registracii programmy` dlya E`VM RU № 2024681047 Imitacionnoe modelirovanie vremeni dvizheniya po vnutridvorovoj territorii pervogo priby`vayushhego k mestu pozhara otdeleniya na avtocisterne [Simulation modeling of the travel time of the first unit arriving at the fire site on a fire truck through the courtyard area], byulleten № 9.

Апарин Александр Александрович

Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,

Российская Федерация, г. Иваново

преподаватель кафедры

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

Aparin Alexander Alexandrovich

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

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

and Elimination of Consequences of Natural Disasters»,

Russian Federation, Ivanovo

teacher of the department

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

УДК 332.1

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДОВ АНАЛИЗА СОЦИАЛЬНОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ РЕГИОНА

Н. В. БОРОВКОВА¹, М. В. МЕДВЕДЕВА²

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

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

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

Данная статья отражает результаты актуализации авторами социальной составляющей экономической безопасности региона. В качестве объекта изучения выступает регион, территория, субъект РФ (Ивановская область). Актуальность данного исследования имеет как теоретический, так и прикладной характер.

Авторами изучены основные теоретические положения экономической безопасности, на основе систематизации теоретического материала и статистических данных выделены ключевые группы социальных индикаторов, характеризующих уровень экономической безопасности региона.

При проведении исследования авторами были использованы комплексный и системный подходы, методы формальной логики, а также статистические методы. Учитывая значимость проведения научных исследований и необходимость реализации практических мероприятий, авторы предлагают обратить больше внимания на уточнение нормативно-правовой базы в социальном компоненте экономической безопасности, и на расширение инструментов анализа и принятия стратегических решений в области экономической безопасности на основе учета социальных аспектов развития региона, позволяющих значительно повысить качество жизни населения, конкурентоспособность региона и его привлекательность для населения и бизнеса.

Заметим, что методический аспект изучения взаимовоздействия социальных показателей развития и показателей оценки экономической безопасности региона, по мнению авторов, в дальнейшем может быть расширен на основе использования корреляционно-регрессионного анализа, экономико-математического моделирования, а также кластерного подхода.

С учетом вышесказанного результаты проведенного научного исследования имеют важное значение для устойчивого и эффективного развития территории благодаря учету социального аспекта в ходе обеспечения экономической безопасности региона.

Ключевые слова: экономическая безопасность региона, социальные индикаторы развития региона, регион, территориальная безопасность, устойчивое развитие, статистика населения региона, качество жизни населения региона, методы анализа социальной составляющей экономической безопасности региона.

IMPROVEMENT OF METHODS FOR ANALYZING THE SOCIAL COMPONENT OF REGIONAL ECONOMIC SECURITY

N. V. BOROVKOVA¹, M. V. MEDVEDEVA²

¹Federal 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

²Ivanovo State Polytechnic University,
Russian Federation, Ivanovo

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

This article reflects the results of the authors' actualization of the social component of the economic security of the region. The object of study is a region, territory, subject of the Russian Federation (Ivanovo region). The relevance of this research is both theoretical and applied.

The authors have studied the main theoretical provisions of economic security, on the basis of systematization of theoretical material and statistical data, the key groups of social indicators characterizing the level of economic security of the region have been identified.

During the research, the authors used complex and systematic approaches, methods of formal logic, as well as statistical methods. Taking into account the importance of scientific research and the need to implement practical measures, the authors propose to pay more attention to clarifying the regulatory framework in the social component of economic security, and to expand the tools for analyzing and making strategic decisions in the field of economic security based on taking into account the social aspects of the development of the region, which significantly improve the quality of life of the population, the competitiveness of the region and its attractiveness for the public and business.

It should be noted that the methodological aspect of studying the interaction of social indicators of development and indicators of assessing the economic security of the region, according to the authors, can be further expanded based on the use of correlation and regression analysis, economic and mathematical modeling, as well as the cluster approach.

Taking into account the above, the results of the conducted scientific research are important for the sustainable and effective development of the territory due to the consideration of the social aspect in the course of ensuring the economic security of the region.

Keywords: economic security of the region, social indicators of regional development, region, territorial security, sustainable development, statistics of the region's population, quality of life of the region's population, methods for analyzing the social component of the region's economic security.

Тематика оценки и повышения экономической безопасности региона в последнее время весьма актуальна. С одной стороны, ученые выделяют множество вопросов, нуждающихся в дополнительном изучении, – это определение безопасности региона, состав показателей для ее оценки, пороговые значения региональной экономической безопасности, инструменты анализа и мониторинга данных. С другой стороны, от экономической безопасности отдельных регионов зависит экономическая безопасность всей экономики страны, что является одной из приоритетных задач развития согласно «Стратегии экономической безопасности РФ до 2030 года», утвержденной Указом Президента РФ от 13.05.2017 г. № 208.

Безопасность территорий, на наш взгляд, целесообразно изучать с точки зрения различных аспектов ее составляющих. Ранее авторами были изучены общая территориальная безопасность с учетом маркетингового подхода [1], экологической безопасности территории [2]. Данная статья является продолжением исследования и посвящена социальному аспекту экономической безопасности региона.

Цели данного исследования заключаются в актуализации социального аспекта обеспечения экономической безопасности региона (на примере Ивановской области) и совершенствовании методов его анализа.

Авторское исследование опирается на комплексный и системный подходы, статистические методы (анализ рядов динамики, сводка данных) и методы формальной логики (анализ и синтез, классификация, сравнение и обобщение).

Проблема региональной экономической безопасности только за последние несколько лет нашла свое отражение в работах таких авторов как: Горина С. В. [3], Ковалева И. В. [4], Бескровная О. В. [5], Котенев А. Б. [6], Пастухова К. И. [7], Танков А. Н. [8], Широкова О. В. [9] и др. В общем смысле под экономической безопасностью авторы понимают устойчивое, постоянное развитие экономики региона и противодействие его внешним и внутренним угрозам.

В качестве основных методов анализа экономической безопасности и ее компонентов в литературе применялись индексный и коэффициентный методы, интегральные методики исследования [10,11,12]. Изучение авторами статистических данных чаще осуществляется как в разрезе отдельных регионов, так и по федеральным округам [5, 6].

В нормативно-правовых актах отсутствует определение экономической безопасности и официальные методики ее определения, в том числе с учетом состояния показателей развития социальной сферы.

Компоненты анализа экономической безопасности региона можно систематизировать, выделив следующие группы: финансовая, рыночная, инфраструктурная, социальная и ресурсная компоненты.

Чаще всего при оценке экономической безопасности региона оценивают динамику таких показателей как:

- уровень инфляции,
- уровень безработицы,
- уровень доходов населения,
- объемы производства и продаж товаров и услуг,

– состояние финансовых рынков и др.

Социальному аспекту при исследованиях экономической безопасности регионов, на наш взгляд, необходимо уделять больше внимания, так как формирование и развитие трудовых и человеческих ресурсов, повышение уровня использования человеческого капитала имеет стратегическое значение для устойчивого развития региона, следовательно, и национальной экономики в целом. От состояния социальной сферы зависит настоящее и будущее региона.

На экономическое развитие региона оказывает влияние множество факторов. В ходе анализа социальной среды региона зачастую авторы выделяют различные демографические, образовательные, медицинские и культурные группы показателей. Например, Полянская И. К. и Малых О. Е. в своем исследовании используют демографические, социально-экономические и юридические индикаторы [10], Гайфуллин А. Ю. и Гайфуллина М. М. выделяют такие шесть групп индикаторов социальной безопасности региона как: демография, рынок труда, благосостояние и социальная защита, правонарушения, здравоохранение, образование и духовно-культурное развитие [11]. Группа ученых из Вятского государственного университета в составе Савельевой Н. К., Созиновой А. А., Сайдаковой В. А., Палешевой Н. В. и Беспятовых А. В. рассматривают семь групп показателей, добавив блок «жилье и городская среда» [12].

Мы предлагаем провести комплексный анализ социальных индикаторов, которые будут приоритетными при влиянии на экономическую безопасность региона, при оценке привлекательности территории для проживания, посещения и инвестирования, то есть для успешной реализации стратегий общего территориального развития, включая обеспечение не только экономической, но и территориальной безопасности. При этом показатели мы предлагаем объединить в несколько групп:

1. Индикаторы, характеризующие численность населения Ивановской области:

1.1. Численность населения (оценка на конец года).

1.2. Темпы прироста численности населения.

1.3. Коэффициент рождаемости (число родившихся на 1 000 человек населения).

1.4. Коэффициент смертности (число умерших на 1 000 человек населения).

1.5. Коэффициент естественного прироста населения на 1 000 человек населения.

1.6. Суммарный коэффициент рождаемости (число детей на 1 женщину).

1.7. Коэффициент миграционного прироста на 10 000 человек населения.

Первая группа индикаторов оказывает влияние на наличие в перспективе собственной рабочей силы для производств региона. При этом снижение экономической безопасности региона является одним из наиболее важных факторов, отрицательно влияющих на численность населения, на коэффициент естественного прироста, а попытка решить проблему за счет привлечения мигрантов может привести к конфликтам.

2. Индикаторы состояния возрастного состава населения:

2.1. Население моложе трудоспособного возраста.

2.2. Население в трудоспособном возрасте.

2.3. Население старше трудоспособного возраста.

2.4. Коэффициенты демографической нагрузки: число лиц нетрудоспособного возраста на 1000 человек трудоспособного возраста (в том числе: моложе трудоспособного возраста и старше трудоспособного возраста).

Вторая группа индикаторов оказывает влияние на распределение налоговой и пенсионной нагрузки на бюджет, на состояние и проблемы рынка труда и требует особого внимания властей.

3. Индикаторы, характеризующие состояние рынка труда Ивановской области:

3.1. Численность рабочей силы.

3.2. Уровень участия в рабочей силе.

3.3. Уровень занятости.

3.4. Уровень безработицы.

Третья группа индикаторов является, с одной стороны, результатом проводимой социально-экономической политики, а с другой – фактором развития региона и привлечения инвестиций. Развитость рынка труда региона – это и социальный, и экономический показатель. Важное значение в данном случае будет иметь состояние инфраструктуры регионального рынка труда.

4. Индикаторы, характеризующие уровень жизни населения Ивановской области:

4.1. Индекс потребительских цен.

4.2. Реальные денежные доходы населения (в процентах к предыдущему году).

4.3. Среднедушевые денежные доходы населения.

4.4. Величина прожиточного минимума.

4.5. Коэффициент фондов (децильный коэффициент).

4.6. Численность населения с денежными доходами ниже границы бедности/величины прожиточного минимума.

4.7. Расходы на продукты питания.

4.8. Расходы на покупку непродовольственных товаров.

4.9. Расходы на оплату услуг

Четвертая группа индикаторов, с одной стороны, характеризует эффективность и устойчивость развития экономики региона, с другой стороны, одновременно является локомотивом его дальнейшего развития, критерием привлекательности, конкурентоспособности региона для населения, предпринимателей и потенциальных инвесторов.

5. Индикаторы, характеризующие уровень доступности социально-культурных услуг в Ивановской области:

5.1. Численность студентов государственных и муниципальных образовательных организаций ВПО на 10 тыс. человек населения.

5.2. Численность студентов государственных и муниципальных образовательных организаций СПО на 10 тыс. человек населения.

5.3. Численность врачей на 10 тыс. человек населения.

5.4. Численность среднего медицинского персонала на 10 тыс. человек населения.

5.6. Зарегистрировано пациентов (с впервые установленным диагнозом) на 1000 человек населения.

5.7. Единовременная пропускная способность спортивных сооружений.

5.8. Численность занимающихся в физкультурно-оздоровительных клубах, секциях и группах.

5.9. Число посещений театров.

Показатели пятой группы характеризуют долгосрочные вложения в человеческий капитал и влияют на перспективы экономического развития и на формирование и развитие трудового потенциала региона. Также благоприятная динамика показателей данной группы повышает уровень привлекательности региона для получения образования и организации культурного досуга.

Таким образом, выделенные нами группы социальных индикаторов, с одной стороны зависят от уровня экономической безопасности региона, а с другой стороны, напрямую влияют на нее, причем не только в краткосрочной, но и в долгосрочной перспективе.

На основании официальных статданных за 2005, 2010, 2015 и 2020–2022 годы проанализируем вышеприведенные показатели на примере Ивановской области.

Таблица 1. Индикаторы, характеризующие численность населения Ивановской области^{1,2}

| Показатель | 2005 | 2010 | 2015 | 2020 | 2021 | 2022 |
|---|---------|---------|---------|-------|-------|-------|
| Численность населения (оценка на конец года), тысяч человек | 1 101,8 | 1 060,1 | 1 005,2 | 938,8 | 924,1 | 914,7 |
| Темпы прироста численности населения, % | -1,4 | -1,06 | -1,2 | -1,6 | -1,6 | -1,0 |
| Коэффициент рождаемости (число родившихся на 1 000 человек населения) | 8,7 | 10,4 | 11,4 | 7,6 | 7,5 | 7,5 |
| Коэффициент смертности (число умерших на 1 000 человек населения) | 22,0 | 18,4 | 16,0 | 17,7 | 20,5 | 17,3 |
| Коэффициент естественного прироста населения на 1 000 человек населения | -13,3 | -8,0 | -4,6 | -10,1 | -13,0 | -9,8 |
| Суммарный коэффициент рождаемости (число детей на 1 женщину) | 1,183 | 1,398 | 1,629 | 1,239 | 1,261 | 1,367 |
| Коэффициент миграционного прироста на 10 000 человек населения | -1 | 8 | -72 | -50 | -21 | -4 |

Численность населения Ивановской области ежегодно сокращается: за период с 2005 года число жителей региона уменьшилось на 187,1 тыс. человек, что является серьезной угрозой для экономической безопасности региона, так как снижение численности населения, как правило, ведет к сокращению рабочей силы, что затрудняет поддержание высокого уровня производства. Кроме того, с

уменьшением численности населения снижается внутренний спрос на товары и услуги, что ведет к сокращению производства, а также замедлению экономической активности, что в свою очередь приводит к падению инвестиционной привлекательности региона, а соответственно ограничивает возможности экономического роста.

С одной стороны, данные процессы являются следствием естественной убыли населения, с другой стороны, имеет место отток населения в другие регионы страны. Одним из отрицательных моментов являются низкие показатели рождаемости, особого внимания тре-

¹ Ивановская область в цифрах: Крат.стат.сб./ Ивановостат. Иваново, 2023. 60 с.

² Регионы России. Социально-экономические показатели. 2023: Стат. сб. / Росстат. М., 2023. 1126 с.

бует суммарный коэффициент рождаемости, который за исследуемый период не поднимался выше 1,398, в то время как для сохранения численности населения без учета миграции этот показатель не должен опускаться ниже 2,1 ребенка на одну женщину.

Сложное демографическое положение региона подтверждается данными о возрастном составе населения, который имеет регрессивную структуру (доля лиц младше трудоспособного возраста ниже доли населения старше трудоспособного возраста). Отметим, что в соответствии с классификацией А. Г. Сундберга для сохранения существующего потенциала доля населения младше трудоспособного возраста должна составлять не менее 27 %, в Ивановской области же наблюдается положи-

тельная динамика данного показателя, но для достижения 27 % нужно будет выяснять причины оттока молодых специалистов и решать возникающие проблемы.

Закономерным следствием снижения численности населения региона явилось сокращение на 9,4 % численности рабочей силы, кроме того, несмотря на пенсионную реформу, снизился с 65,6 % до 62,1 % показатель уровня участия в рабочей силе. Уровень занятости в регионе в рассматриваемом периоде колебался от 57,4 % до 65,3 %, в 2022 году он составил 60,1 %, что соответствует нормативным показателям. В качестве положительного момента следует отметить снижение уровня безработицы, который в 2022 году достиг 3,1 %.

Таблица 2. Индикаторы состояния возрастного состава населения (оценка на конец года; в процентах от общей численности населения Ивановской области)^{3,4}

| Показатель | 2005 | 2010 | 2015 | 2020 | 2021 | 2022 |
|--|------|------|------|------|------|------|
| Население моложе трудоспособного возраста, % | 14,4 | 14,2 | 15,9 | 16,2 | 16,2 | 16,1 |
| Население в трудоспособном возрасте, % | 60,8 | 59,7 | 55,7 | 54,6 | 55,9 | 55,6 |
| Население старше трудоспособного возраста, % | 24,8 | 26,1 | 28,4 | 29,2 | 27,9 | 28,3 |
| Коэффициенты демографической нагрузки: число лиц нетрудоспособного возраста на 1000 человек трудоспособного возраста | 646 | 675 | 796 | 832 | 788 | 797 |
| В том числе: | | | | | | |
| – моложе трудоспособного возраста | 238 | 238 | 285 | 297 | 290 | 290 |
| – старше трудоспособного возраста | 408 | 437 | 511 | 535 | 498 | 507 |

Таблица 3. Индикаторы, характеризующие состояние рынка труда Ивановской области^{5,6}

| Показатель | 2005 | 2010 | 2015 | 2020 | 2021 | 2022 |
|--|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Численность рабочей силы, тыс. человек | 571,6 | 556,2 | 548,1 | 514,0 | 526,0 | 517,6 |
| Уровень участия в рабочей силе, % | 65,6 | 66,6 | 69,2 | 60,7 | 62,5 | 62,1 |
| Уровень занятости населения, % | 61,0 | 61,6 | 65,3 | 57,4 | 59,7 | 60,1 |
| Уровень безработицы, % | 6,9 | 7,6 | 5,6 | 5,4 | 4,5 | 3,1 |

Таблица 4. Индикаторы, характеризующие уровень жизни населения Ивановской области^{7,8}

| Показатель | 2005 | 2010 | 2015 | 2020 | 2021 | 2022 |
|--|-------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Индекс потребительских цен (декабрь к декабрю предыдущего года), % | 108,7 | 112,2 | 113,8 | 105,8 | 109,9 | 112,7 |
| Реальные денежные доходы населения, % к предыдущему году | 108,0 | 109,7 | 95,5 | 97,2 | 100,1 | 96,5 |
| Среднедушевые денежные доходы населения (в месяц; руб.) | 3 486 | 11 124 | 22 297 | 26 284 | 28 680 | 34 275 |
| Величина прожиточного минимума (в среднем на душу населения; руб. в месяц) | 2 612 | 5 210 | 9 462 | 10 608 | 10 761 | 12 321 |

³ Ивановская область в цифрах...60 с.

⁴ Регионы России...1126 с.

⁵ Ивановская область в цифрах...60 с.

⁶ Регионы России...1126 с.

⁷ Ивановская область. Статистический ежегодник. 2023: Стат. Сб./ Ивановостат. Иваново, 2023. 388 с.

⁸ Регионы России...1126 с.

| Показатель | 2005 | 2010 | 2015 | 2020 | 2021 | 2022 |
|--|------|------|------|------|------|------|
| Коэффициент фондов (децильный коэффициент), раз | 7,9 | 10,5 | 10,4 | 10,1 | 10,3 | 9,0 |
| Численность населения с денежными доходами ниже границы бедности/величины прожиточного минимума, % | 41,3 | 20,1 | 16,0 | 13,7 | 12,9 | 11,5 |
| Расходы на продукты питания, % | 46,3 | 41,5 | 35,4 | 33,4 | 32,8 | 33,8 |
| Расходы на покупку непродовольственных товаров, % | 23,4 | 27 | 36,1 | 39,7 | 39,7 | 38,1 |
| Расходы на оплату услуг, % | 27,2 | 28,9 | 23,4 | 22,7 | 24,1 | 24,2 |

Показатели уровня жизни населения региона в целом дают представление о причинах негативных демографических процессов в регионе: несмотря на ежегодный рост среднедушевых доходов населения, реальные дохо-

ды в последние годы имеют тенденцию к снижению, индексы потребительских цен в каждый рассматриваемый период опережают рост реальных денежных доходов (см. рисунок).

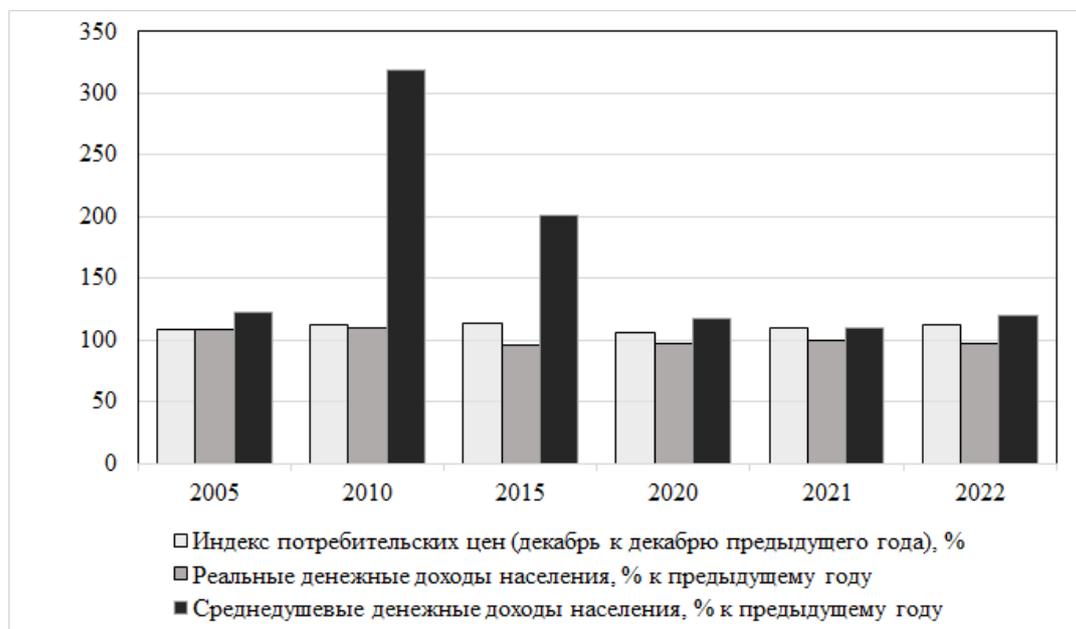


Рисунок. Основные показатели, характеризующие изменение уровня жизни населения

В качестве положительного момента следует отметить значительное сокращение доли населения с доходами ниже прожиточного уровня: за рассматриваемый период этот показатель сократился в 3,6 раз, а коэффициент фондов снизился до 9 (верхняя граница указанного показателя – 10). Однако, если сравнить показатели среднедушевых доходов населения и величины прожиточного минимума, то можно отметить, что имеет место значительный разбег в динамике этих показателей: если среднедушевые доходы населения за период 2005–2022 гг. выросли в 9,8 раз, то рост величины прожиточного минимума составил 4,7 раза, учитывая снижение реальных доходов населения, говорить о значительном

повышении уровня жизни населения преждевременно.

Если рассмотреть структуру населения с точки зрения распределения доходов, то в 2022 году на долю 20 % наименее обеспеченного населения приходилось 7,2 % общего объема доходов населения, что на 0,5 п. п. ниже, чем аналогичный показатель 2005 года, по второй и третьей группам отмечалась аналогичная тенденция, их показатели в 2022 году составили 12,1 % и 16,7 % соответственно, на четвертую группу в рассматриваемых периодах приходилось 23,1 % общего объема доходов населения, доля доходов наиболее обеспеченной группы к 2022 году выросла на 1,4 п. п. и составила 40,9 %.

Структура расходов населения Ивановской области за период 2005–2022 гг. свидетельствует об улучшении уровня жизни, прежде всего за указанный период произошло изменение структуры расходов в сторону снижения доли продуктов питания и роста расходов на непродовольственные товары, более

того, если рассмотреть продуктовые группы⁹, то можно заметить, что потребление хлебобулочных изделий сократилось в 1,5 раза, картофеля – в 1,2 раза, в то время, как потребление более качественных товаров, таких как: овощи, фрукты и ягоды, мясо выросло соответственно в 1,4 раза, 1,9 раза и 1,6 раза.

Таблица 5. Индикаторы, характеризующие уровень доступности социально-культурных услуг в Ивановской области¹⁰

| Показатель | 2005 | 2010 | 2015 | 2020 | 2021 | 2022 |
|---|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Численность студентов государственных и муниципальных образовательных организаций ВПО на 10 тыс. человек населения, человек | 483 | 437 | 289 | 238 | 234 | 244 |
| Численность студентов государственных и муниципальных образовательных организаций СПО на 10 тыс. человек населения, человек | 144 | 127 | 117 | 147 | 149 | 163 |
| Численность врачей на 10 тыс. человек населения, человек | 51,0 | 51,9 | 43,8 | 45,4 | 44,5 | 47,1 |
| Численность среднего медицинского персонала на 10 тыс. человек населения, человек | 135,5 | 103,8 | 103,5 | 98,7 | 96,3 | 101,0 |
| Зарегистрировано пациентов (с впервые установленным диагнозом) на 1000 человек населения, человек | 824,0 | 897,5 | 877,5 | 835,5 | 967,1 | 1061,7 |
| Единоновременная пропускная способность спортивных сооружений, человек | 34257 | 33616 | 43942 | 46896 | 49220 | 49958 |
| Численность занимающихся в физкультурно-оздоровительных клубах, секциях и группах, человек | 120489 | 132910 | 247946 | 370252 | 381031 | 395139 |
| Число посещений театров, тыс. | 208,2 | 247,6 | 257,5 | 81,8 | 174,3 | 297,5 |

За исследуемые периоды практически в 2 раза сократилась численность студентов высших учебных заведений, в то время, как количество студентов средних специальных учебных заведений в расчете на 10 тыс. человек населения выросло на 13 п. п., что, с одной стороны, свидетельствует об ограничении возможностей получения высшего образования, а, с другой стороны, также является следствием изменения демографической ситуации и ситуации на рынке труда.

Оценивая показатели, характеризующие уровень доступности для населения услуг системы здравоохранения, следует отметить сокращение медицинского персонала на фоне роста числа заболеваний. В то же время рост доступности спортивных площадок и популяризация здорового образа жизни привели к

увеличению числа организованно занимающихся физической культурой в 3,3 раза по сравнению с аналогичным показателем 2005 года.

Таким образом, можно сделать вывод, что в Ивановской области сохраняется сложная социально-демографическая ситуация, которая может стать угрозой для экономической безопасности региона в целом: низкий уровень рождаемости и неэффективная демографическая структура населения снижают экономический потенциал региона.

В данной статье авторами был актуализирован социальный аспект экономической безопасности региона, сформирована система

⁹ Ивановская область. Статистический ежегодник. 2023: Стат. Сб./ Ивановостат. Иваново, 2023. 388 с.

¹⁰ Ивановская область... 388 с.

индикаторов по пяти блокам социального компонента экономической безопасности региона, анализ которых позволил оценить его состояние в Ивановской области и выделить наиболее проблемные зоны.

В качестве рекомендаций укажем на необходимость решения ряда вопросов. Во-первых, актуальной была бы подготовка нормативно-правовой базы для исключения спорных вопросов, в частности, законодательная разработка определения социальной безопасности региона и перечень обязательных для анализа индикаторов, облегчающий межрегиональные сравнения.

Во-вторых, для проведения анализа мы использовали методы сводки данных, анализа динамических рядов, и в дальнейших исследованиях планируется расширить спектр используемых инструментов за счет корреляционно-регрессионного анализа, экономико-математического моделирования, а также кластерного подхода.

Список литературы

1. Боровкова Н. В., Медведева М. В. Маркетинговый подход к формированию территориальной безопасности // *Современные проблемы гражданской защиты*. 2023. № 3 (48). С. 21–27. URL: https://ntp.edufire37.ru/uploads/2024/03/%D0%A1%D0%9F%D0%93%D0%97_348_2023.pdf
2. Боровкова Н. В., Медведева М. В., Шумилов М. Е. Экологическая безопасность как фактор социально-экономического развития // *Современные проблемы гражданской защиты*. 2020. № 3 (36). С. 62–69. URL: https://ntp.edufire37.ru/uploads/2024/03/%D0%92%D1%8B%D0%BF%D1%83%D1%81%D0%BA-336_2020.pdf
3. Боровкова Н. В., Горинова С. В. Экономическая безопасность региона: организационно-управленческий аспект // *Современные проблемы гражданской защиты*. 2019. № 4 (33). С. 5–13.
4. Ковалева И. В., Семина Л. А. К теории вопроса определения индикаторов экономической безопасности региона // *Экономика Профессия Бизнес*. 2019. № 4. С. 37–42. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/k-teorii-voprosa-opredeleniya-indikatorov-ekonomicheskoy-bezopasnosti-regiona>
5. Бескровная О. В. Экономическая безопасность региона (на примере Магаданской области) // *Инновации и инвестиции*. 2022. № 4. С. 218–222. URL: <file:///C:/Users/USER/Downloads/ekonomicheskaya-bezopasnost-regiona-na-primere-magadanskoy-oblasti.pdf>
6. Котенев А. Б., Альбеков А. У., Пар-

В-третьих, отметим необходимость проведения постоянного сбора информации, мониторинга показателей экономической безопасности региона, а также оценки существующих возможностей и угроз для разработки стратегии развития региона и обеспечения его экономической безопасности с учетом социального аспекта.

Наконец, в-четвертых, обратим внимание на значимость развития инфраструктуры рынка труда, жилищно-коммунальной сферы, учета социального аспекта экономической безопасности региона.

Реализация стратегий долгосрочного развития, повышение уровня включенности государства в решение социальных проблем в дальнейшем создаст базу для обеспечения экономической безопасности как отдельных регионов, так и национальной экономики в целом.

хоменко Т. В. Экономическая безопасность региона: теоретико-методический подход // *RUSSIAN JOURNAL OF MANAGEMENT*. 2023. Том 11. № 2. С. 1–11. URL: <https://riorpub.com/ru/nauka/article/69092/view>

7. Пастухова К. И. Экономическая безопасность региона: подходы к определению // *ЭКОНОМИКА: ВЧЕРА, СЕГОДНЯ, ЗАВТРА*. 2022. Том 12. № 2–1. С. 67–76. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=48552753>

8. Танков А. Н., Кузнецова А. Ю. Экономическая безопасность региона: классификация определений и влияющих факторов // *Общество: политика, экономика, право*. 2023. № 3 (116). С. 70–75. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ekonomicheskaya-bezopasnost-regiona-klassifikatsiya-opredeleniy-i-vliyayuschih-faktorov>

9. Широкова О. В. Экономическая безопасность региона: угрозы и перспективы их снижения // *ЭФО*. 2022. № 2. С. 42–52. URL: <https://efofinun.ru/index.php/arhiv/2022-2/77-ekonomicheskaya-bezopasnost-regiona-ugrozy-i-perspektivy-ikh-snizheniya>

10. Полянская И. К., Малых О. Е. Социальная безопасность региона: новые подходы к ее оценке и определению пороговых индикаторов // *Социально-трудовые исследования*. 2021. № 4 (45). С. 19–27. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sotsialnaya-bezopasnost-regiona-novye-podhody-k-ee-otsenke-i-opredeleniyu-porogovyh-indikatorov>

11. Гайфуллин А. Ю., Гайфуллина М. М. Методический подход к оценке социальной безопасности региона // *Фундаментальные исследования*. 2015. № 12-5. С. 1001–1006. URL: <https://fundamental-research.ru/ru/article/view?id=39667>

12. Оценка взаимосвязи социальной безопасности региона с показателями инвестиционно-инновационного развития / Н. К. Савельева, А. А. Созинова, В. А. Сайдакова [и др.] // *Экономическая безопасность*. 2023. Том 6. № 1. С. 333–346. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=52263888>

References

1. Borovkova N. V., Medvedeva M. V. Marketingovyy podhod k formirovaniyu territorial'noj bezopasnosti [Marketing approach to the formation of territorial security]. *Sovremennye problemy grazhdanskoj zashchity*, 2023, vol. 3 (48), pp. 21–27. URL: https://ntp.edufire37.ru/uploads/2024/03/%D0%A1%D0%9F%D0%93%D0%97_348_2023.pdf (in Russ.).

2. Borovkova N. V., Medvedeva M. V., Shumilov M. E. Ekologicheskaya bezopasnost' kak faktor social'no-ekonomicheskogo razvitiya [Environmental safety as a factor in socio-economic development]. *Sovremennye problemy grazhdanskoj zashchity*, 2020, vol. 3 (36), pp. 62–69. URL: https://ntp.edufire37.ru/uploads/2024/03/%D0%92%D1%8B%D0%BF%D1%83%D1%81%D0%BA-336_2020.pdf (in Russ.).

3. Borovkova N. V., Gorinova S. V. Ekonomicheskaya bezopasnost' regiona: organizacionno-upravlencheskij aspekt [Economic security of the region: organizational and managerial aspect]. *Sovremennye problemy grazhdanskoj zashchity*, 2019, vol. 4 (33), pp. 5–13. (in Russ.).

4. Kovaleva I. V., Semina L. A. K teorii voprosa opredeleniya indikatorov ekonomicheskoy bezopasnosti regiona [Towards the theory of the issue of determining indicators of regional economic security]. *Ekonomika Professiya Biznes*, 2019, issue 4, pp. 37–42. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/k-teorii-voprosa-opredeleniya-indikatorov-ekonomicheskoy-bezopasnosti-regiona> (in Russ.).

5. Beskrovnaya O. V. Ekonomicheskaya bezopasnost' regiona (na primere Magadanskoj oblasti) [Economic security of the region (on the example of the Magadan region)]. *Innovacii i investicii*, 2022, issue 4, pp. 218–222. URL: <file:///C:/Users/USER/Downloads/ekonomicheskaya-bezopasnost-regiona-na-primere-magadanskoj-oblasti.pdf> (in Russ.).

6. Kotenev A. B., Al'bekov A. U., Parhomenko T. V. Ekonomicheskaya bezopasnost'

regiona: teoretiko-metodicheskij podhod [Economic security of the region: theoretical and methodological approach]. *RUSSIAN JOURNAL OF MANAGEMENT*, 2023, vol. 11, issue 2, pp. 1–11. URL: <https://riorpub.com/ru/nauka/article/69092/view> (in Russ.).

7. Pastuhova K. I. Ekonomicheskaya bezopasnost' regiona: podhody k opredeleniyu [Economic security of the region: approaches to definition]. *EKONOMIKA: VCHERA, SEGODNYA, ZAVTRA*, 2022, issue 12, vol. 2-1, pp. 67–76. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=48552753> (in Russ.).

8. Tankov A. N., Kuznecova A. Yu. Ekonomicheskaya bezopasnost' regiona: klassifikaciya opredelenij i vliyayushchih faktorov [Economic security of the region: classification of definitions and influencing factors]. *Obshchestvo: politika, ekonomika, pravo*, 2023, vol. 3 (116), pp. 70–75. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ekonomicheskaya-bezopasnost-regiona-klassifikatsiya-opredeleniy-i-vliyayushchih-faktorov> (in Russ.).

9. Shirokova O. V. Ekonomicheskaya bezopasnost' regiona: ugrozy i perspektivy ih snizheniya [Economic security of the region: threats and prospects for their reduction]. *EFO*, 2022, issue 2, pp. 42–52. URL: <https://efofinun.ru/index.php/arhiv/2022-2/77-ekonomicheskaya-bezopasnost-regiona-ugrozy-i-perspektivy-ikh-snizheniya> (in Russ.).

10. Polyanskaya I. K., Malyh O. E. Social'naya bezopasnost' regiona: novye podhody k ee ocenke i opredeleniyu porogovyh indikatorov [Social security of the region: new approaches to its assessment and determination of threshold indicators]. *Social'no-trudovye issledovaniya*, 2021, vol. 4 (45), pp. 19–27. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sotsialnaya-bezopasnost-regiona-novye-podhody-k-ee-otsenke-i-opredeleniyu-porogovyh-indikatorov> (in Russ.).

11. Gajfullin A. Yu., Gajfullina M. M. Metodicheskij podhod k ocenke social'noj bezopasnosti regiona [Methodological approach to assessing the social security of a region]. *Fundamental'nye issledovaniya*, 2015, vol. 12-5, pp. 1001–1006. URL: <https://fundamental-research.ru/ru/article/view?id=39667> (in Russ.).

12. Ocenka vzaimosvyazi social'noj bezopasnosti regiona s pokazatelyami investicionno-innovacionnogo razvitiya [Evaluation of the relationship between the social security of the region and the indicators of investment and innovative development] / N. K. Savel'eva, A. A. Sozinova, V. A. Sajdakova [et al.]. *Ekonomicheskaya bezopasnost'*, 2023, vol. 6, issue 1, pp. 333–346. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=52263888> (in Russ.).

Боровкова Наталия Владимировна

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

кандидат экономических наук, доцент

E-mail: bnv7777@ya.ru

Borovkova Nataliya Vladimirovna

Federal State 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 economic sciences, associate professor

E-mail: bnv7777@ya.ru

Медведева Мария Валерьевна

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

кандидат экономических наук

E-mail: mmv_777@mail.ru

Medvedeva Maria Valeriyevna

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

candidate of economic Sciences

E-mail: mmv_777@mail.ru

УДК 614.842.83.07/08

ПОДДЕРЖКА ПРИНЯТИЯ УПРАВЛЕНЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ВЫБОРА ОПТИМАЛЬНОГО РАСХОДА ОГнетушащих Веществ НА МЕСТЕ ПОЖАРА

А. В. ЕРМИЛОВ, С. Н. НИКИШОВ, А. В. КУЗНЕЦОВ, Д. А. ТАРАСОВА

Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,

Российская Федерация, г. Иваново

E-mail: skash_666@mail.ru, mordov5988@mail.ru, a.kuznetsov9@yandex.ru, darlingoov@mail.ru

Разработан алгоритм выбора прибора подачи огнетушащих веществ на тушение пожара и его оптимального расхода. Алгоритм состоит из девяти этапов при последовательном решении которых, начальник караула первого прибывшего пожарно-спасательного подразделения может принимать управленческие решения по выбору оптимального расхода огнетушащих веществ. Алгоритм актуален для основной тактической единицы в составе двух и более отделений на пожарных автомобилях основного назначения, а также первичной тактической единицы. В основе алгоритма представлены расчетные данные площади тушения ручных пожарных стволов и максимальное время начала тушения пожара.

Ключевые слова: оперативная обстановка, площадь тушения пожара, управленческое решение, руководитель тушения пожара, ручной пожарный ствол.

SUPPORT FOR MANAGEMENT DECISION-MAKING IN CHOOSING THE OPTIMAL CONSUMPTION OF FIRE EXTINGUISHING AGENTS AT THE FIRE SITE

A. V. ERMILOV, S. N. NIKISHOV, A. V. KUZNETSOV, D. A. TARASOVA

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: skash_666@mail.ru, mordov5988@mail.ru, a.kuznetsov9@yandex.ru, darlingoov@mail.ru

An algorithm has been developed for selecting a device for supplying extinguishing agents to extinguish a fire and its optimal consumption. The algorithm consists of nine stages, with the sequential solution of which the head of the guard of the first arrived fire and rescue unit can make managerial decisions on choosing the optimal consumption of fire extinguishing agents. The algorithm is relevant for a guard on duty consisting of two or more departments on fire trucks of the main purpose, as well as a primary tactical unit. The algorithm is based on the calculated data of the extinguishing area of manual fire barrels and the maximum time to start extinguishing the fire. The study is more focused on the elimination of burning by the fire protection of enterprises gorenje.

Keywords: operational situation, fire extinguishing area, management decision, fire extinguishing manager, manual fire barrel.

Введение

Профессиональная деятельность первого прибывшего дежурного караула на место вызова существенно влияет на успешность решения основной боевой задачи. Эффективность реализации тактических возможностей дежурного караула зависит от ряда факторов, одним из которых является оперативная обстановка на месте пожара [1] и ее средств оперативного мониторинга [2 ;3; 4].

Оперативная обстановка включает в себя: наличие людей на объекте пожара, объ-

емно-планировочные характеристики объекта пожара, инженерные решения объекта пожара, вид и количество пожарной нагрузки, место пожара, наличие и удаленность наружного противопожарного водоснабжения от объекта пожара, наличие подъездных путей к объекту пожара, а также погодные и временные условия решения основной боевой задачи [5]. Среди выделенных составляющих оперативной обстановки, существенно влияющих на сложность реализации тактических возможностей, можно выделить количество пожарной нагрузки [6]. От данного показателя непосредственно зависит:

1. Скорость развития горения по по-

верхности твердых веществ и материалов (линейная скорость ϑ_n), соответственно время наступления критических значений опасных факторов пожара. К ним относятся: пламя и искры; тепловой поток; повышенная температура окружающей среды; повышенная концентрация токсичных продуктов горения и термического разложения; пониженная концентрация кислорода; снижение видимости в дыму¹. Также пожарная нагрузка влияет на возможную площадь пожара, которую должен ликвидировать первый прибывший дежурный караул на место пожара.

2. Интенсивность подачи огнетушащих веществ на тушение пожара и прибор их подачи (ручные пожарные стволы РС-50, РС-70, РСКУ-50, РСКУ-70, Курс-8, Dual-Force, ULTIMATIC-RU и др., лафетные стволы ПЛС-П20, Blitzfire, Crossfire и др., воздушно пенные стволы и пеногенераторы).

В специальной литературе представлен диапазон линейной скорости распространения горения как табличное значение для объектов пожара, а также веществ и материалов [7]. Для зданий различного функционального назначения, твердых горючих веществ, и материалов встречается уникальный диапазон линейной скорости. Следовательно, на месте пожара может существовать несколько вариантов оперативной обстановки. Например, для административных зданий ϑ_n находится в диапазоне от 1 до 1,5 м/мин (6 вариантов оперативной обстановки), а для сгораемой кровли большой площади ϑ_n находится в диапазоне от 1,7 до 3,2 м/мин (16 вариантов оперативной обстановки) [7]. Стоит отметить, что в документах предварительного планирования прогнозирования оперативной обстановки ведется по наихудшему варианту, то есть при максимальном значении линейной скорости развития пожара ϑ_n^{max} для конкретного объекта пожара или материала.

Данный аспект подчеркивает факт, согласно которому первый прибывший дежурный караул на место вызова может столкнуться с оперативной обстановкой, при которой:

1. Тактические возможности дежурного караула обеспечивают ликвидацию горения с учетом людей, нуждающихся в спасении. То есть фактический расход подачи огнетушащих веществ превышает требуемый расход ($Q_{ф} \geq Q_{тп}$).

2. Тактических возможностей недостаточно для ликвидации горения (наличие людей, нуждающихся в спасении или площадь пожара, превышает тактические возможности

дежурного караула).

Таким образом, возникает необходимость анализа вариантов развития оперативной обстановки, каждому из которых будет соответствовать потребность в силах и средствах пожарной охраны для решения основной боевой задачи. Выделенная проблема определила цель статьи – разработать алгоритм выбора прибора подачи огнетушащих веществ на тушение пожара и его оптимального расхода, который является способом поддержки принятия управленческих решений.

Результаты исследования

Экспериментальная работа проводилась в три этапа. В качестве объекта исследования нами выбрано производственное здание II СО. Очаг пожара находится в центре помещения и распространяется по круговой форме. Линейная скорость распространения горения составляет от 1 до 1,5 м/мин [**Ошибка! Источник ссылки не найден.**]. Интенсивность подачи воды на тушение пожара составляет 0,1 л/(м²×с) [8, с. 72]. На место вызова прибыл дежурный караул в составе двух отделений на двух автоцистернах.

На первом этапе определялась площадь тушения большинства известных ручных пожарных стволов, таких как: СРВД-2/300; Delta Attack 100; QUADRAFOG-RU 1; РС-50; OPT-50; РСКО-50; QUADRAFOG-RU 1.5; Delta Attack 500; Delta H500 MID-Range; Optramatic 500; Optrapons 500; РС-70; РСКУ-50А-АП «ПРОРЫВ»; Delta H600; Delta Attack 750; ThunderFog 1.5; Mid Force; Dual-Force 1.5; ThunderFog 2.5; Optramatic 1000; Dual-Force 2.5. Площадь тушения ручного пожарного ствола определялась по формуле 1 с учетом максимального расхода ствола [9]:

$$S_m = \frac{q_{сгв}^{max}}{I_{тп}}, \quad (1)$$

где: $q_{сгв}^{max}$ – максимальный расход ручного пожарного ствола, л/с; $I_{тп}$ – интенсивность подачи огнетушащих веществ на тушение пожара, л/(м²×с).

Результаты исследования максимальной площади тушения при подаче одного ручного пожарного ствола представлены на рис. 1. Согласно расчетам максимальная площадь тушения пожара составляет 192 м², при расходе ствола Dual-Force 2.5 19,2 л/с.

Результаты исследования максимальной площади тушения при подаче двух ручных пожарных стволов представлены на рис. 2. Согласно расчетам максимальная площадь тушения пожара составляет 384 м², при расходе двух стволов Dual-Force 2.5 38,4 л/с.

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

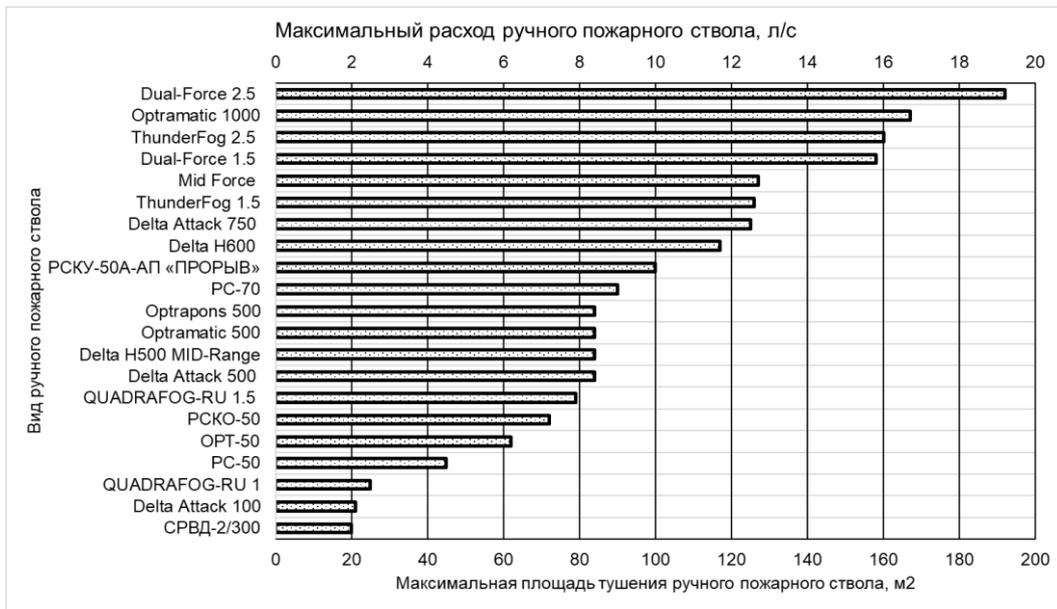


Рис. 1. Максимальная площадь тушения одного ручного пожарного ствола

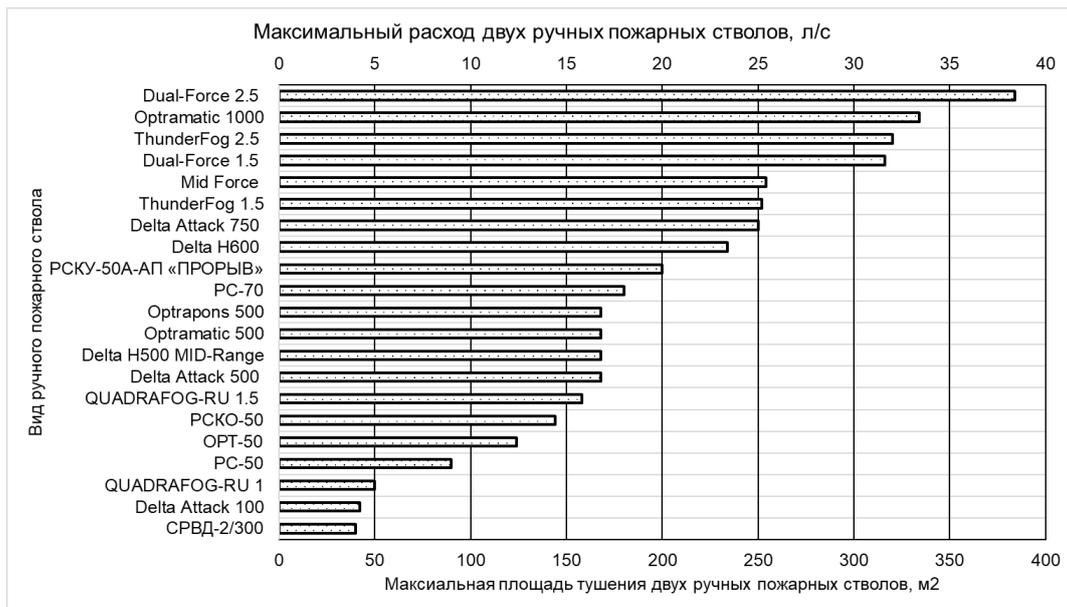


Рис. 2. Максимальная площадь тушения двух ручных пожарных стволов

На втором этапе нами определялось предельно максимальное время подачи огнетушащих веществ, необходимых для локализации пожара. Время начала тушения пожара принималось, как момент наступления потребности в площади тушения ручного пожарного ствола. С этой целью из формулы определения площади пожара² нами выделено время начала тушения:

$$S_n = \pi \times (g_l \times t_{нач})^2, \quad (2)$$

где g_l – линейная скорость развития горения по поверхности твердых веществ и материалов, м/мин; $t_{нач}$ – время начала тушения пожара, мин.

Таким образом:

$$t_{нач} = \sqrt{\frac{S_n}{\pi}} \times \frac{1}{g_l}, \quad (3)$$

² Свод правил СП 323.1311500.2015 Пожарная охрана предприятий. Общие требования. М. 2015. п. 6.2.

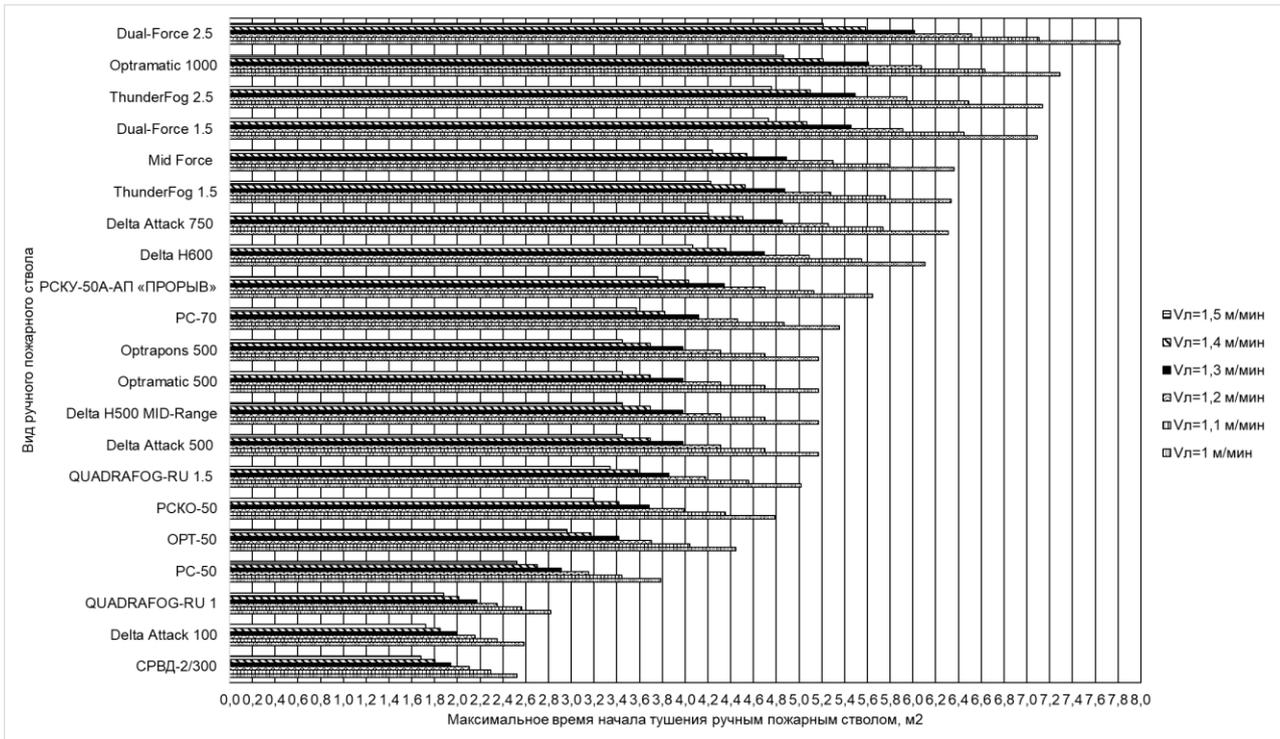


Рис. 3. Максимальное время подачи огнетушащих веществ на тушение пожара одним ручным пожарным стволом

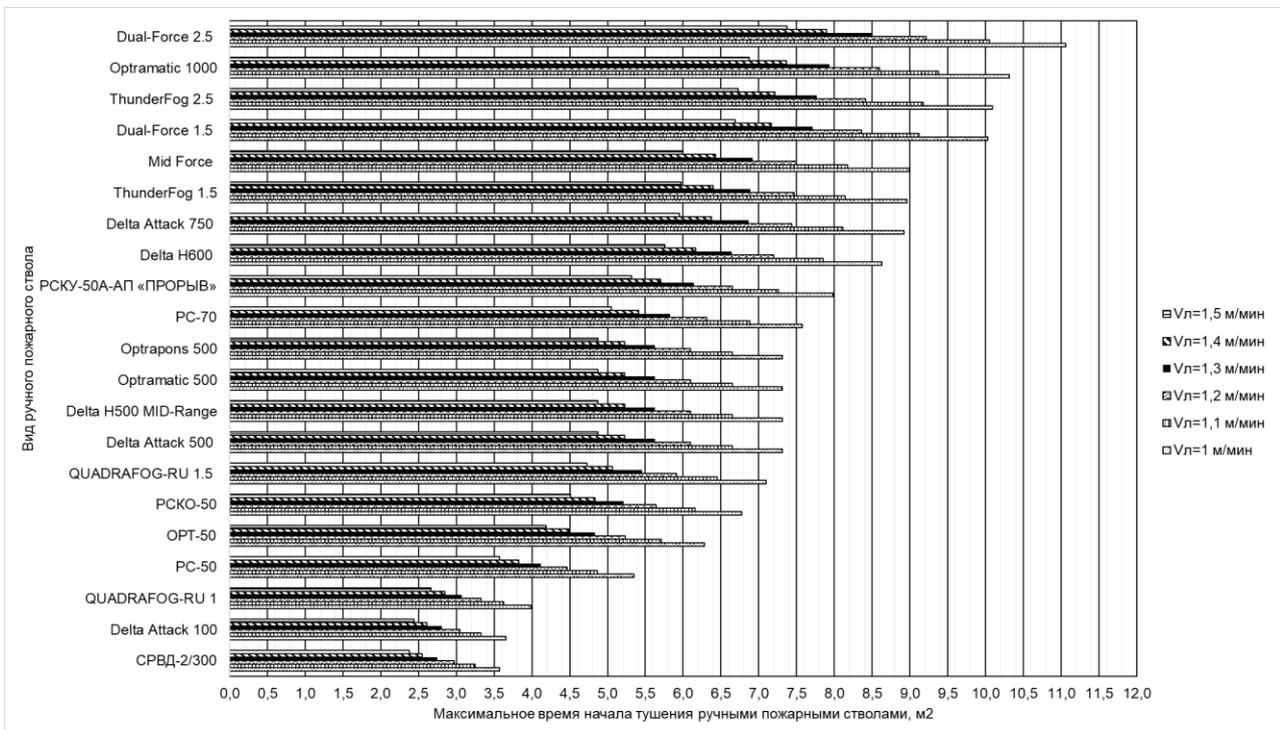


Рис. 4. Максимальное время подачи огнетушащих веществ на тушение пожара двумя ручными пожарным стволами

Результаты исследования максимального времени подачи огнетушащих веществ на тушение пожара одним пожарным стволом представлены на рис. 3. Согласно расчетам время составляет, при расходе ствола Dual-Force 2.5 при $\vartheta_n = 1$ м/мин 7,8 мин, при $\vartheta_n = 1,1$ м/мин 7,1 мин, при $\vartheta_n = 1,2$ м/мин 6,5 мин, при $\vartheta_n = 1,3$ м/мин 6,0 мин, при $\vartheta_n = 1,4$ м/мин 5,6 мин, при $\vartheta_n = 1,5$ м/мин 5,2 мин.

Результаты исследования максимального времени подачи огнетушащих веществ на тушение пожара двумя пожарными стволами представлены на рис. 4. Согласно расчетам время составляет, при расходе ствола Dual-Force 2.5 при $\vartheta_n = 1$ м/мин 11,1 мин, при $\vartheta_n = 1,1$ м/мин 10,1 мин, при $\vartheta_n = 1,2$ м/мин 9,2 мин, при $\vartheta_n = 1,3$ м/мин 8,5 мин, при $\vartheta_n = 1,4$ м/мин 7,9 мин, при $\vartheta_n = 1,5$ м/мин 7,4 мин.

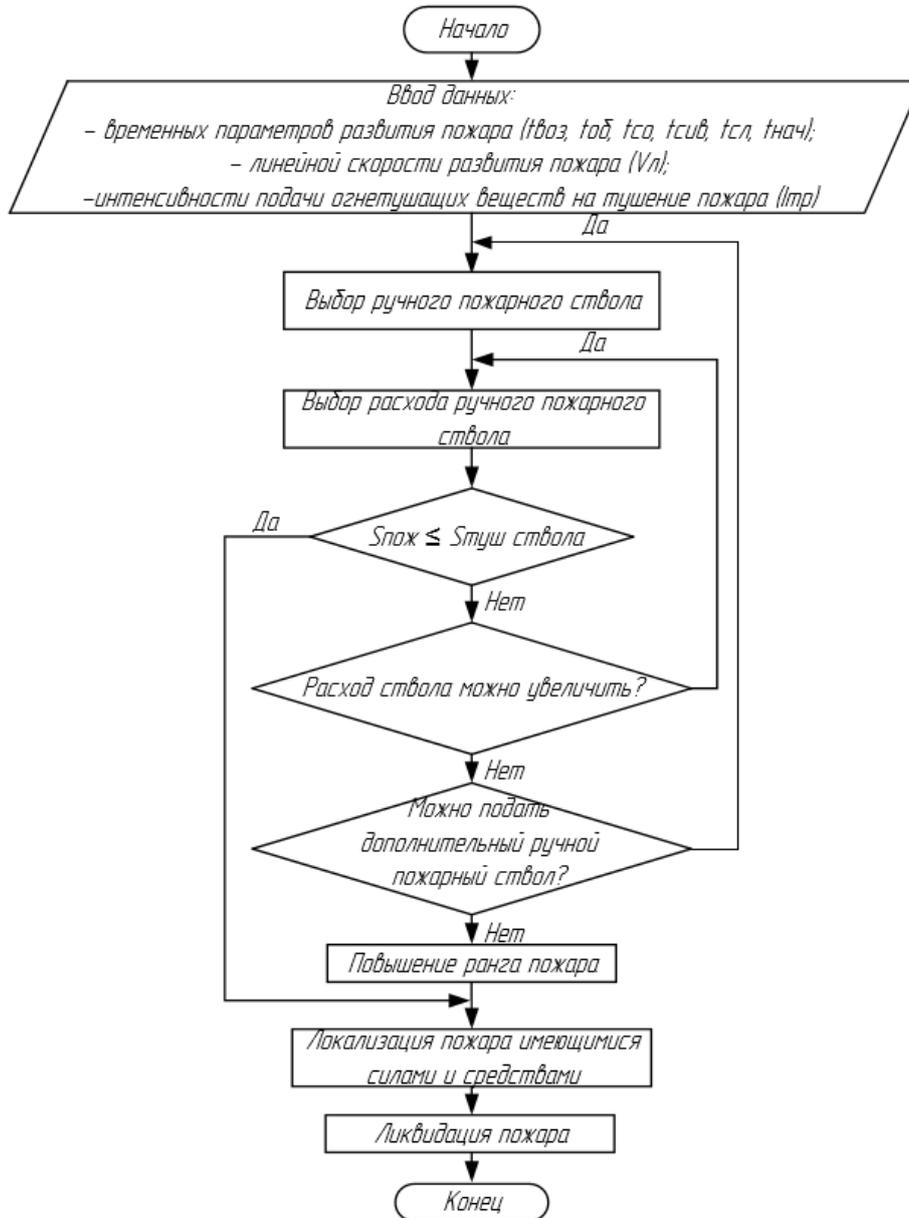


Рис. 5. Алгоритм выбора прибора подачи огнетушащих веществ на тушение пожара и его оптимального расхода

На третьем этапе исследования нами построен алгоритм выбора прибора подачи огнетушащих веществ на тушение пожара и его оптимального расхода. Алгоритм состоит из девяти этапов (рис. 5).

На первом этапе алгоритма осуществляется ввод данных, необходимых для прогнозирования оперативной обстановки на месте пожара, а также параметров его тушения:

– временные параметры развития пожара³: время возникновения пожара $t_{воз}$; время обнаружения пожара $t_{об}$; время сообщения о пожаре $t_{со}$; время обработки вызова диспетчером и время сбора и выезда дежурного караула на место вызова $t_{суб}$; время следования дежурного караула к месту вызова $t_{сл}$; время начала тушения пожара $t_{нач}$;

– выбранное значение линейной скорости развития пожара $\mathcal{U}_л$ для определенного объекта функционального назначения или вида твердого горючего вещества и материала [7];

– выбранное значение интенсивности подачи огнетушащих веществ на тушение пожара $I_{мп}$ [7].

На втором этапе алгоритма выбирается прибор подачи огнетушащих веществ (ручной пожарный ствол) подаваемый на тушение пожара.

На третьем этапе алгоритма выбирается расход подачи ручного пожарного ствола.

На четвертом этапе должно выполняться условие, при котором площадь пожара на момент начала тушения пожара меньше или равна площади тушения ручного пожарного ствола $S_{пж} \leq S_{туш. ств}$. Если условие выполняется, то наступает момент локализации пожара (восьмой этап), который обеспечивается имеющимися силами и средствами, а в дальнейшем и ликвидация пожара (девятый этап). Если условие не выполняется, то начальником караула принимается управленческое решение о возможном повышении расхода ствола.

На пятом этапе алгоритма данное условие зависит от тактических возможностей дежурного караула, которые позволяют увеличить расход ствола повышая напор на насосе пожарного автомобиля, либо регулировкой его расхода (комбинированные столы). Если условие выполняется, то существует вероятность достижения локализации пожара (восьмой этап). При отсутствии возможности повышения расхода ствола, руководитель тушения пожара принимает управленческое решение о введении на тушение дополнительного прибора подачи огнетушащих веществ.

На шестом этапе алгоритма данное условие также опирается на тактические возможности дежурного караула, а именно:

1. Численность личного состава дежурного караула, необходимого для реализации оперативно-тактических действий.

2. Наличие необходимого прибора подачи огнетушащих веществ на пожарном автомобиле.

3. Наличие необходимого количества напорных пожарных рукавов для прокладки магистральных и рабочих линий.

Если условие выполняется, то существует вероятность достижения локализации пожара (восьмой этап). При отсутствии возможности подать дополнительный ручной пожарный ствол начальнику караула необходимо повысить ранг пожара и привлечь силы и средства на место вызова согласно выписке из Расписания выездов⁴ (седьмой этап). После сосредоточения необходимых сил и средств наступает момент локализации пожара (восьмой этап) и его дальнейшая ликвидация (девятый этап).

Выводы

Поддержка принятия управленческих решений выбора оптимального расхода огнетушащих веществ на месте пожара является важной составляющей оперативности и успешности решения основной боевой задачи. Разработанный алгоритм может быть реализован при организации боевой подготовки первых прибывших должностных лиц возглавляющих дежурные караулы на место вызова с целью эффективного распределения обязанностей боевого расчета при тушении пожаров [10]. В большей степени алгоритм рассчитан для ликвидации пожаров на предприятиях, имеющих большую производственную площадь. Для применения алгоритма при тушении пожаров в зданиях другого функционального назначения рекомендуется учитывать не площадь пожара, как основу выбора времени начала тушения, а суммарная площадь тушения пожара по направлениям ввода сил и средств.

³ Свод правил СП 11.13130.2009 Места дислокации подразделений пожарной охраны. Порядок и методика определения. М. 2009.

⁴ Приказ МЧС России от 25 октября 2017 г. № 467 «Об утверждении Положения о пожарно-спасательных гарнизонах»

Список литературы

1. Прогнозирование оперативной обстановки для оценки эффективности управления силами и средствами руководителем тушения пожара / А. В. Ермилов, С. Н. Никишов, А. К. Кокурин [и др.] // Современные проблемы гражданской защиты. 2023. № 4 (49). С. 19–27.

2. Кузнецов А. В., Баканов М. О., Тараканов Д. В. Анализ структурно-логической модели резервирования средств оперативного мониторинга пожаров // Технологии техно-сферной безопасности. 2019. № 2 (84). С. 99–107.

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

4. Информационные ресурсы системы мониторинга крупных пожаров на объектах энергетики / А. В. Кузнецов, Д. В. Тараканов, М. О. Баканов [и др.] // Современные проблемы гражданской защиты. 2020. № 4 (37). С. 24–32.

5. Семенов А. О. Сбор и обработка данных оперативной обстановки на пожаре // Пожаровзрывобезопасность. 2006. Т. 15, № 4, 2006, С. 31–34.

6. Теребнев В. В., Грачев В. А. Пожарная тактика: учебник. М. Академия ГПС МЧС России, 2015. 547 с.

7. Иванников В. П., Ключ П. П. Справочник руководителя тушения пожара. М.: Стройиздат, 1987. 288 с.

8. Абдурагимов И. М. Проблема тушения крупных лесных пожаров и крупномасштабных пожаров твердых горючих материалов в зданиях // Пожаровзрывобезопасность, 2012, Т. 21, № 2, С. 69–74.

9. Шпаргалка РТП. Расчет параметров насосно-рукавных систем с помощью таблиц / В. В. Теребнев, М. А. Шурыгин, Т. Н. Атаманов, [и др.]. Екатеринбург: ООО «Издательство «Калан», 2013. 116 с.

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

and means by the fire extinguishing manager] / A. V. Ermilov, S. N. Nikishov, A. K. Kokurin [et al.]. *Sovremennye problemy grazhdanskoj zashchity*, 2023, vol. 4 (49), pp. 19–27.

2. Kuznecov A. V., Bakanov M. O., Tarakanov D. V. Analiz strukturno-logicheskoj modeli rezervirovaniya sredstv operativnogo monitoringa pozharov [Analysis of the structural and logical model of reserving operational fire monitoring facilities]. *Tekhnologii tekhnosfernoj bezopasnosti*, 2019, vol. 2 (84), pp. 99–107.

3. Kuznecov A. V., Butuzov S. Yu., Tarakanov D. V. Algoritm ocenki vazhnosti zadach organizacii monitoringa krupnogo pozhara [An algorithm for assessing the importance of the tasks of organizing monitoring of a large fire]. *Sovremennye problemy grazhdanskoj zashchity*, 2022, vol. 2 (43), pp. 27–33.

4. Informacionnye resursy sistemy monitoringa krupnyh pozharov na ob"ektah energetiki [Information resources of the monitoring system for large fires at energy facilities] / A. V. Kuznecov, D. V. Tarakanov, M. O. Bakanov [et al.]. *Sovremennye problemy grazhdanskoj zashchity*, 2020, vol. 4 (37), pp. 24–32.

5. Semenov A. O. Sbor i obrabotka dannyh operativnoj obstanovki na pozhare [Collection and processing of operational situation data at a fire]. *Pozharovzryvobezopasnost'*, 2006, vol. 15, issue 4, 2006, pp. 31–34.

6. Terebnev V. V., Grachev V. A. *Pozharnaya taktika: uchebnik* [Fire tactics: textbook]. M.: Akademiya GPS MCHS Rossii, 2015. 547 p.

7. Ivannikov V. P., Klyus P. P. *Spravochnik rukovoditelya tusheniya pozhara* [Directory of the fire extinguishing manager]. Moscow: Strojizdat, 1987. 288 p.

8. Abduragimov I. M. Problema tusheniya krupnyh lesnyh pozharov i krupnomasshtabnyh pozharov tverdyh goryuchih materialov v zdaniyah [The problem of extinguishing large forest fires and large-scale fires of solid combustible materials in buildings]. *Pozharovzryvobezopasnost'*, 2012, vol. 21, issue 2, pp. 69–74.

9. *Shpargalka FEM. Raschet parametrov nasosno-rukavnyh sistem s pomoshch'yu tablic* [The RTP cheat sheet. Calculation of parameters of pumping and bag systems using tables] / V. V. Terebnev, M. A. Shurygin, T. N. Atamanov [et al.]. Ekaterinburg: ООО «Izdatel'stvo «Kalan», 2013. 116 p.

10. Optimizaciya upravlencheskih reshenij pri raspredelenii obyazannostej boevogo rascheta [Optimization of management decisions in the allocation of combat crew responsibilities] / I. V. Bagazhkov, P. N. Konovalenko, S. N. Nikishov [et al.]. *Sovremennye problemy grazhdanskoj zashchity*, 2022, vol. 4 (45), pp. 5–12.

References

1. Prognozirovanie operativnoj obstanovki dlya ocenki effektivnosti upravleniya silami i sredstvami rukovoditelem tusheniya pozhara [Forecasting the operational situation to assess the effectiveness of the management of forces

Ермилов Алексей Васильевич

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

кандидат педагогических наук

E-mail: skash_666@mail.ru

Ermilov Aleksey Vasilevich

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

E-mail: skash_666@mail.ru

Никишов Сергей Николаевич

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

кандидат технических наук

E-mail: mordov5988@mail.ru

Nikishov Sergey Nikolaevich

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

Russian Federation, Ivanovo

candidate of technical sciences

E-mail: mordov5988@mail.ru

Кузнецов Александр Валерьевич

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

кандидат технических наук

E-mail: a.kuznetsov9@yandex.ru

Kuznetsov Alexander Valerievich

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

Russian Federation, Ivanovo

candidate of technical sciences

E-mail: a.kuznetsov9@yandex.ru

Тарасова Дарья Андреевна

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

E-mail: darlingoov@mail.ru

Tarasova Darya Andreevna

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: darlingoov@mail.ru

УДК 614.849; 331.08; 34.08

ОПРЕДЕЛЕНИЕ БАЗИСНЫХ ФАКТОРОВ, ВЛИЯЮЩИХ НА КАЧЕСТВО РАССЛЕДОВАНИЯ

С. Ю. КАРПОВ

Всероссийский ордена «Знак Почета»
научно-исследовательский институт противопожарной обороны МЧС России,
Российская Федерация, г. Балашиха
E-mail: kafedrandagps@mail.ru

В представленной работе рассматриваются вопросы влияния различных факторов на качество расследования пожаров. В решении задачи по определению оптимальной численности дознавателей МЧС России предлагается учитывать показатель качества расследования и использовать когнитивное моделирование в данном вопросе. Рассматриваемый подход позволяет добиться соотношения «качество-количество» и быть одним из инструментов ЛПР (лицо принимающее решение) в принятии управленческого решения при прогнозировании оптимальной численности сотрудников территориальных подразделений органа дознания МЧС России.

В рамках исследовательской работы автором представлены основополагающие факторы (элементы), влияющие на качество расследования пожаров, которые ранжированы по значимости и имеют оценивающие критерии. Разработана иерархическая когнитивная карта качественно-количественных показателей.

Ключевые слова: пожар, пожарная безопасность, дознаватель, кадровое ресурсообеспечение, расследование пожаров, численность дознавателей, расследование и экспертиза пожаров

USING COGNITIVE MODELING I N DETERMINING FIRE INVESTIGATION QUALITY INDICATOR

S. Y. KARPOV

All-Russian Order of the Badge of Honor Scientific Research Institute of Fire Protection
of the Ministry of Emergency Situations of Russia,
Russian Federation, Balashikha
E-mail: kafedrandagps@mail.ru

The presented work examines the influence of various factors on the quality of fire investigation. It is proposed to take into account the indicator of the quality of the investigation and the use of cognitive modeling in this matter in solving the problem of determining the optimal number of investigators of the Ministry of Emergency Situations of Russia. The considered approach makes it possible to achieve a «quality – quantity» ratio and to be one of the tools of the LPR in making a management decision when predicting the optimal number of employees of the territorial divisions of the Ministry of Emergency Situations of Russia.

As part of the research work, the author presents the fundamental factors (elements) affecting the quality of fire investigation, which are ranked by importance and have evaluating criteria. A hierarchical cognitive map of qualitative and quantitative indicators has been developed.

Keywords: fire, fire safety, investigator, human resource provision, fire investigation, number of investigators, investigation and examination of fires

Введение

При расследовании пожаров вопрос кадрового ресурсообеспечения является одним из важных аспектов, так как это влияет не только на качество и своевременность выполняемой работы, но и опосредованно оказывает влияние на систему обеспечения пожарной безопасности.

Совершенствование органа дознания МЧС России и определение оптимальной численности сотрудников, является одним из элементов в реализации положений стратегии без-

опасности, изложенных в указах Президента России¹.

¹ Указ Президента РФ от 01.01.2018 г. № 2 «Об утверждении Основ государственной политики РФ в области пожарной безопасности на период до 2030 года», указ Президента РФ от 16.10.2019 г. № 501 «Стратегия в области развития гражданской обороны, защиты населения и территорий от чрезвычайных ситуаций, обеспечения пожарной безопасности и безопасности людей на водных объектах на период до 2030 года», указ Президента РФ от 02.07.2021 № 400 «О Стратегии национальной безопасности Российской Федерации».

Деятельность по расследованию пожаров имеет свои особенности, которые соотносятся со множеством неопределенностей и сложностей, а также существенно отличаются от других профессий, где при определении численности сотрудников применяются не сложные нормативы (методы). Социально-психологические, правовые, временные, территориальные, и иные обстоятельства при расследовании пожаров влияют на определение необходимого количества сотрудников и разработку методики (модели) эффективной численности дознавателей (следователей). Поэтому одной из главных задач соответствующих органов исполнительной власти является определение оптимальной численности дознавателей (следователей) с учетом деятельности эффективной и надлежащего качества в расследовании пожаров.

Качество расследования пожаров – это индикатор деятельности органа дознания (следствия). Под качеством расследования преступлений, как правило, рассматривают правовые требования через призму законности, объективности, полноты исследований и т.п. [1, 2]. В рамках анализа деятельности органа дознания МЧС России качество расследования может рассматриваться через статистические показатели в отчетности, которые отражают только количественные данные². Например, если дело о пожаре после «резюми» прокурора передано в суд, то формально материалы дела могут иметь определенную полноту доказательств (достаточность доказательств) и по статистике могут соотноситься (считаться) как качественные. В действительности примененный подход может не дать объективной информации о качестве расследования пожаров, так как под критериями качества должны рассматриваться позиции, отражающие полноту и достоверность полученной (оформленной) информации по делу на основе действительно влияющих на это факторов.

Качество расследования пожаров тесно взаимосвязано с должностным лицом, которое производит расследование и собирает материалы по делу. Поэтому на качество мате-

риалов дела влияют факторы и критерии должностного лица, а также особенности организации его деятельности в составе подразделения (органа). В данной статье автор рассматривает вопросы, о взаимосвязи качества расследования пожара и определения оптимального кадрового ресурсообеспечения. Определение основополагающих факторов, ранжирование их по значимости, рассмотрение влияющих критериев, позволят сформировать качественно-количественные показатели и с помощью когнитивного моделирования решить поставленную задачу.

Основная часть

Снижение качества расследования пожаров, как и низкий процент раскрываемости по уголовным делам указывает на необходимость разработки новых подходов и методов при решении вопросов, связанных с повышением эффективности в деятельности органа дознания МЧС России [3–5].

При определении необходимого количества сотрудников, например дознавателей МЧС России в существующих подходах используют метод трудозатрат по видам работ, но при этом в расчете численности не учитывают параметры (критерии) качества работ, которые и являются показателем эффективности сотрудника [6–10]. В связи с этим автор предлагает рассмотреть иной подход, где основной догмой будет соотношение оптимального количества сотрудников при приемлемом качестве выполняемых работ (рис. 1). Отсюда возникает множество обстоятельств (критериев, факторов), которые необходимо оценить с точки зрения восприятия рациональных (логических) и интуитивных начал. В синтезе рационального и интуитивного возникает способность ЛПР принимать своевременные и адекватные решения.

Что мы понимаем под качеством в работе дознавателя при расследовании пожаров и как это понять в каждом конкретном случае? Какие процессуальные действия несут наиболее значимую информацию и являются основополагающими при расследовании пожаров или при вынесении процессуальных решений? Как зависит качество расследования пожара и производство основополагающих (неотложных) процессуальных действий, например от опыта сотрудника и оперативности его прибытия на место пожара? Является ли усталость от деятельности перегрузки сотрудника и экстремальные погодные условия причиной некачественного и недостаточного сбора информации на месте пожара? Может ли влиять на качество расследования пожаров неуклоплектованность органа дознания и в какой степени (отсутствие оптимального количества со-

² Приказ МЧС РФ от 21 ноября 2008 г. N 714 «Об утверждении Порядка учета пожаров и их последствий» (с изменениями и дополнениями); Приказ Генпрокуратуры России от 22.12.2017 N 858 (ред. от 24.06.2019) «Об утверждении и о введении в действие форм федерального статистического наблюдения N 1-Е «Сведения о следственной работе и дознании» и N 1-ЕМ «Сведения об основных показателях следственной работы и дознания», а также Инструкции по составлению отчетности по формам федерального статистического наблюдения N 1-Е, 1-ЕМ»

трудников)? На многие аналогичные вопросы и ситуации, связанные с расследованием пожаров нет формализованных и структурированных ответов, так как в каждом конкретном случае под качеством можно понимать разные объемы, формы и приемы сбора доказательств. При этом есть ключевые логические критерии, которые в совокупности обеспечи-

вают достижение положительного результата. Поэтому определение количественного состава органов правопорядка через призму качества выполнения работ позволит повысить уровень пожарной безопасности, эффективность профилактических мер и обосновать ресурсные затраты при выполнении возложенных государством на него функций.



Рис. 1. Концептуальная модель представления взаимосвязи качества и своевременности расследования пожаров с учетом оптимального количества дознавателей территориальных подразделений.

Определение базисных факторов и построение алгоритма когнитивного анализа сложных ситуаций при принятии решений в кадровом ресурсообеспечении

Работа дознавателя (следователя) по делам о пожарах предусматривает алгоритм действий с учетом различных обстоятельств, которые в большинстве случаев нельзя отнести к типовым. Важным критерием в деятельности сотрудника является время (сроки), отведенное на расследование, которое ограничено законодательством. Принцип разумного срока производства по делу должен обеспечить законные и конституционные права граждан. Это говорит о том, что в независимости от ситуации (сложности расследования пожара) сотрудник должен обеспечить качество материалов дела и раскрываемость преступлений на достаточно высоком уровне и в установленные сроки, обеспечивая тем самым свой личный показатель эффективности и правоохранительной системы в целом.

В работе сотрудника можно выделить ряд базисных факторов (основных задач), которые объективно могут влиять на качество расследования, а также отражать оптимальное соотношение (зависимость) «количество сотрудников – качество работы». В любом случае приоритет качества в расследовании пожара зависит во многом от профессионализма и действий должностного лица. Теоретически ситуацию, связанную с качеством выполнения работ по расследованию пожаров, можно раз-

делить на следующие влияющие ресурсо-организационные блоки:

1. То, что зависит непосредственно от сотрудника (образование, опыт, компетенции и т.п.);
2. То, что от сотрудника не зависит (погодные условия, климат, форс-мажорные обстоятельства и т.п.)

Определив базисные факторы на основе логико-математического аппарата, можно сформировать причинно-следственные связи и выстроить алгоритм когнитивного моделирования при определении показателя качества, который в свою очередь будет являться инструментом поддержки принятия управленческого решения при определении оптимальной численности сотрудников (дознавателей, следователей) территориальных подразделений. Факторов, влияющих на качество и своевременность расследования пожаров множество, но стоит выделить несколько основных, которые во всех случаях будут являться базовыми (основополагающими). Базовые факторы по своей направленности и различиям можно разделить на два блока: «процессуальный» (собираемый) и «ресурсообеспечительный». Для первого блока основополагающими будут такие позиции как: своевременный и качественный осмотр места пожара, сбор показаний от очевидцев (свидетелей) и результаты судебных экспертиз (в первую очередь пожарно-технической). Для ресурсообеспечительного блока основополагающими (базовыми) будут: опыт и образование сотрудника, его функ-

циональная «загруженность» в течение года, обеспечение оперативности прибытия к месту пожара, укомплектованность территориального подразделения сотрудниками, достаточность материально-технического обеспечения и особенности климата в регионе (районе) (табл. 1). На основе экспертного метода базовые факторы, разбитые на блоки, ранжированы по значимости влияния их на качество собираемой информацию по делу.

Представленные данные в табл. 1 можно расположить в графическом варианте с иерархией важности наиболее значимых факторов, влияющих на качество расследования пожаров [11, 12].

Построение когнитивной карты (обозначения на рис. 2 приняты в произвольной форме для отсылки к позициям в табл. 1).

1. Вершина (R) – показатель качества расследования пожаров

2. D1 – качество осмотра места происшествия; D2 – качество опроса свидетелей (очевидцев); D3 – качество заключения эксперта.

3. Уровень – 1 – знания и умения – базисные критерии.

4. Уровень – 2 – базисные факторы.

Таблица 1. Основополагающие факторы (элементы), влияющие на качество расследования пожаров

| Требования к сотруднику* | Блоки | Ранг | Факторы | Критерии |
|--|--|------|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> Знать условия и порядок проведения процессуальных действий по делам о пожарах в соответствии с уголовно-процессуальным законодательством (Y1) Знать особенности квалификации преступлений, выдвижения и проверки версий о причине пожара, тактические особенности расследования (Y2) Знать природу механизма возникновения горения, образования следов, их признаков при возникновении и развитии пожара, а также очаговые признаки (Y3) Знать методы исследования конструкций, предметов, веществ, материалов, в том числе в лабораторных условиях (Y4) Знать порядок назначения и производства | Базисные факторы, влияющие на качество производства работ по расследованию пожаров (ресурсообеспечительный блок) | 1 | Опыт работы сотрудника (X1) | Более 3 лет (+) Менее 3 лет (-) |
| | | 6 | Деятельностная нагрузка сотрудника (X6) | Оптимальная (+) Допустимая (-) с допустимым увеличением на 10 % |
| | | 4 | Оптимальность территории обслуживания подразделения (X4) | Оптимальная (+) обеспечение оперативности прибытия на место пожара Допустимая (-) с учетом больших территорий прибытие в течение рабочего дня |
| | | 2 | Образование сотрудника (X2) | Оптимальное (+) высшее пожарно-техническое + высшее юридическое – ср. бал по аттестату выше 4 Допустимое (-) высшее специальное |
| | | 3 | Материально-техническое оснащение сотрудника (X3) | Достаточное (+) наличие транспортного средства, оргтехники, переносного криминалистического чемодана и т.п. Не достаточное (-) |
| | | 7 | Кадровая обеспеченность структурного подразделения (X7) | Полная (+) Неполная доля обеспеченности (+) 80 % от штатной численности Частичная (-) 50 % от штатной численности |
| | | 5 | Погодные условия (климатические зоны) (X5) | Обычные (+) умеренные климатические зоны Экстремальные (-) особые климатические зоны – крайний север, пустыни и т.п. |

| Требования к сотруднику* | Блоки | Ранг | Факторы | Критерии |
|---|---|------|---|---|
| <p>экспертиз, права, обязанности, ответственность и пределы компетенции эксперта (У5)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Уметь анализировать, систематизировать информацию, исследовать материальные следы, пользоваться техническими средствами обнаружения, фиксации (фото- видео) следов и доказательств, взаимодействовать с необходимыми службами и специалистами. Способность описывать следы, обстоятельства пожара, вещную обстановку, показания очевидцев, в том числе в графическом формате или рисунками (У6) • Уметь изымать, сохранять криминалистически важные вещественные доказательства (У7) | <p>«Критерии» качества материалов дела, при производстве наиболее значимым процессуальным действием при расследовании пожаров (процессуальный блок)</p> | 1 | <p>Осмотр места происшествия (пожара) (D1)</p> | <p>Оптимальный (+) осмотром места пожара подробно описаны признаки, указывающие на: 1) динамику распространения пожара; 2) признаки очага пожара; 3) признаки расположения в очаге пожара потенциальных источников загорания (или их отсутствие); 4) степень и характер повреждения строительных конструкций, веществ и материалов; 5) изъятие вещественных доказательств и проведение исследований на месте пожара) 6) краткая характеристика объекта и прилегающей территории с размерностью и описанием криминалистически важных следов</p> <p>Допустимый (-) осмотром места пожара описаны признаки, указывающие на: 1) динамику распространения пожара; 2) признаки очага пожара; 3) признаки расположения в очаге пожара потенциальных источников загорания (или их отсутствие)</p> |
| | | 2 | <p>Объяснение (допрос) (D2)</p> | <p>Оптимальный (+) получены достаточные данные, указывающие на: первоначальное место горения, динамику распространения пожара, причастность лиц к возникновению пожара, явную причину возникновения пожара, обстоятельства, способствующие возникновению и распространению пожара</p> <p>Допустимый (-) получены данные указывающие на признаки места возникновения пожара</p> |
| | | 3 | <p>Заключение эксперта (судебная экспертиза) (D3)</p> | <p>Оптимальное (+) на все поставленные вопросы дознавателя (следователя) даны выводы эксперта в категорической форме, установлено первоначальное место возникновения горения и причина пожара</p> <p>Допустимое (-) все остальные случаи</p> |

*Требования позволяющие обеспечить качество производства основных процессуальных действий и культуру оформления документов.

Модель иерархической когнитивной карты можно представить как:

$$IG = \langle G_k, G_{(k+1)}, E_k \rangle, \quad k=1, 2, \dots, m, \quad (1)$$

где IG – иерархическая когнитивная карта.

$$G_k = \langle V, E \rangle_k \quad (2)$$

$$V = \{V_i\}, i=1, 2, \dots, n; \quad E = \{e_{(i,j)}\}, i, j=1, 2, \dots, n \quad (3)$$

где G_k – когнитивная карта k-го уровня, V, E – множество вершин и дуг когнитивной карты, отображающие причинно-следственные связи системы.

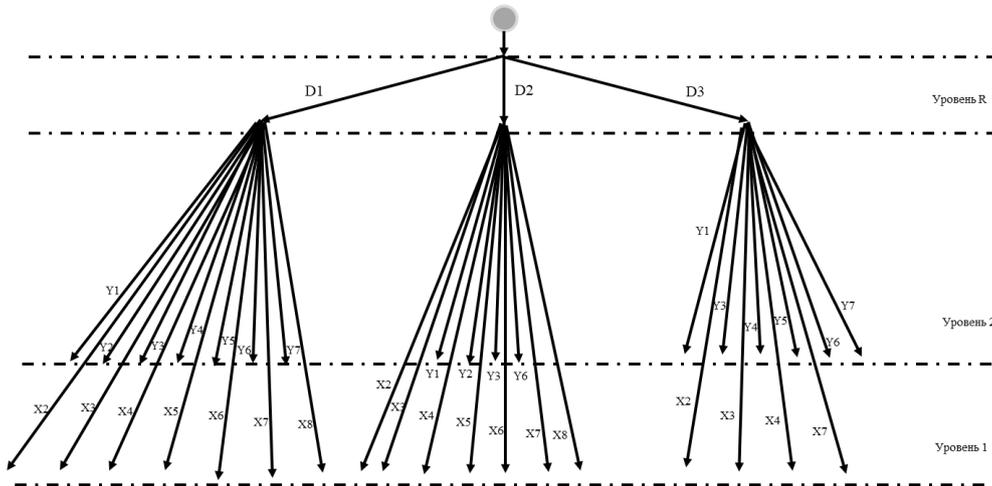


Рис. 2. Иерархическая когнитивная карта определения показателя качества при расследовании пожаров

В случае необходимости построения более сложной модели используют параметрический векторный функциональный граф

$$\Phi_{\Pi} = \langle G = \langle V, E \rangle, x^{(v)}, F, \theta \rangle \quad (4)$$

где $x^{(v)}$ – параметры вершин, $F = f(x_i, x_j, e_{ij}) = f_{ij}$ – функциональная зависимость между вершинами V_i, V_j , которая может быть определена только весовыми коэффициентами w_{ij} .

Иерархическую когнитивную карту можно представить в виде нечеткой когнитивной модели

$$\tilde{G} = \langle V, \tilde{U} \rangle \quad (5)$$

$$\tilde{U} = \{ \langle \mu_U \langle v_i, v_j \rangle / \langle v_i, v_j \rangle \rangle \} \quad (6)$$

где \tilde{U} – нечеткое множество дуг, $\mu_k \langle v_i, v_j \rangle$ степень принадлежности дуги $\langle v_i, v_j \rangle \in V^2$ нечеткому множеству дуг.

В табл. 2 представлена матрица степени зависимостей факторов, на основе которых и характеризуются весовые критерии влияния на качество расследования пожаров. Степень влияния (зависимости) концептов между собой рассматриваемых в таблице 2 может иметь положительный аспект или отрицательный. В случае если концепты не влияют друг на друга, то в таблице стоит значение 0.

Примечание для таблицы:

- стрелка жирная – значит концепт влияет существенно (коэффициент влияния допускаем не менее 0,9);
- стрелка средняя – значит концепт влияет выше среднего (коэффициент влияния допускаем 0,6);
- стрелка тонкая – значит концепт влияет незначительно (коэффициент влияния допускаем 0,3);
- отсутствие прямой взаимосвязи – значение 0 (коэффициент влияния 0).

Таблица 2. Нечеткая когнитивная матрица (матрица смежности) для построений НКК параметров

| | Качество расследования (V1) | Осмотр места пожара (V2) | Объяснение (V3) | Экспертиза (V4) | Территория обслуживания (V5) | Деятельностная нагрузка (V6) | Кадровая обеспеченность (V7) | Опыт работы (V8) | Образование (V9) | Мат.-Тех. обеспечение (V10) | Погодные условия (V11) |
|------------------------------|-----------------------------|--------------------------|-----------------|-----------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------|------------------|-----------------------------|------------------------|
| Качество расследования (V1) | | Ст. жирная +1 | Ст. жирная +1 | Ст. жирная +1 | Ст. жирная +1 | Ст. средняя +1 | Ст. тонкая -1 | Ст. жирная +1 | Ст. жирная +1 | Ст. средняя -1 | Ст. тонкая -1 |
| Осмотр места пожара (V2) | 0 | | Ст. тонкая +1 | 0 | Ст. жирная +1 | Ст. тонкая -1 | Ст. тонкая -1 | Ст. жирная +1 | Ст. жирная +1 | Ст. средняя +1 | Ст. средняя -1 |
| Объяснение (V3) | 0 | Ст. тонкая +1 | | 0 | Ст. жирная +1 | Ст. тонкая -1 | 0 | Ст. жирная +1 | Ст. жирная +1 | Ст. средняя +1 | 0 |
| Экспертиза (V4) | 0 | Ст. жирная +1 | Ст. средняя +1 | | Ст. тонкая +1 | 0 | 0 | Ст. тонкая +1 | Ст. тонкая +1 | экспертизы 0 | 0 |
| Территория обслуживания (V5) | 0 | 0 | 0 | 0 | | Ст. жирная -1 | 0 | 0 | 0 | Ст. жирная +1 | Ст. средняя +1 |
| Деятельностная нагрузка (V6) | 0 | 0 | 0 | 0 | Ст. средняя -1 | | Ст. жирная -1 | Ст. средняя +1 | 0 | Ст. тонкая -1 | 0 |
| Кадровая обеспеченность (V7) | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | Ст. тонкая -1 | | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Опыт работы (V8) | Ст. жирная +1 | Ст. жирная +1 | Ст. жирная +1 | Ст. тонкая +1 | 0 | Ст. средняя +1 | 0 | | Ст. тонкая +1 | 0 | 0 |
| Образование (V9) | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | 0 | 0 |
| Мат.—тех. обеспечение (V10) | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | 0 |
| Погодные условия (V11) | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |

Примечание: Ст. жирная – стрелка жирная; Ст. тонкая – стрелка тонкая; Ст. средняя – стрелка средняя.

Данные табл. 2 можно записать в виде ниже представленных единичных матриц с учетом коэффициентов влияний.

$$A_G = \begin{bmatrix} 0 & +1 & +1 & +1 & +1 & -1 & -1 & +1 & +1 & -1 & -1 \\ 0 & & +1 & 0 & +1 & -1 & -1 & +1 & +1 & +1 & -1 \\ 0 & +1 & & 0 & +1 & 0 & 0 & +1 & +1 & 0 & 0 \\ 0 & +1 & +1 & & +1 & 0 & 0 & +1 & +1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & & -1 & 0 & 0 & 0 & +1 & +1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & & -1 & +1 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & & 0 & 0 & 0 & 0 \\ +1 & +1 & +1 & +1 & 0 & +1 & 0 & & +1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$A_G = \begin{bmatrix} 0,9 & 0,9 & 0,9 & 0,9 & -0,6 & -0,3 & 0,9 & 0,9 & -0,6 & -0,3 \\ 0 & & 0,3 & 0 & 0,9 & -0,3 & -0,3 & 0,9 & 0,9 & 0,6 & -0,6 \\ 0 & 0,3 & & 0 & 0,9 & -0,3 & 0 & 0,9 & 0,9 & 0,6 & 0 \\ 0 & 0,9 & 0,6 & & 0,3 & 0 & 0 & 0,3 & 0,3 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & & -0,9 & 0 & 0 & 0 & 0,9 & 0,6 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -0,6 & & -0,9 & 0,6 & 0 & -0,3 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -0,3 & & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0,9 & 0,6 & 0,6 & 0,3 & 0 & 0,6 & 0 & & 0,3 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

Заключение

Применение нового подхода при оценке качества расследования пожара на основе математического моделирования позволяет в дальнейшем использовать полученные результаты для формирования качественно-количественных критериев оценки эффективности деятельности дознавателя. В данном случае выстроенные причинно-следственные связи помогают объяснить на экспертно-логическом уровне использование индикатора качества расследования пожаров при определении оптимальной численности сотрудников

лени оптимальной численности сотрудников [13, 14, 15]. Предложенная концептуальная модель взаимосвязи качества и своевременности расследования пожаров может использоваться как приоритетный показатель при определении численности дознавателей территориальных подразделений. Представленные концепты и критерии являются исходными данными и весовыми показателями в рамках формирования нечеткой когнитивной модели влияния основополагающих элементов на качество расследования пожаров.

Список литературы

1. Зникин В. К. Понятие эффективности и качества предварительного расследования // Вестник Томского государственного университета. Право. 2014. № 1. С. 25–32.
2. Батыщева Е. В. Актуальные вопросы и проблемы качества предварительного расследования и пути их решения // Юрист-Правовед, 2017. № 3 (82) С. 55–60.
3. Бабушкин М. Ю., Приказчиков С. С. Анализ деятельности органов дознания государственного пожарного надзора федеральной противопожарной службы по осуществлению дознания по делам о пожарах за 2022 год. // Право. Безопасность. Чрезвычайные ситуации. 2023. № 2 (59). С. 91–108.

4. Расследование и экспертиза пожаров. Учебное пособие. 1-е изд. Сер. 76 Высшее образование / С. А. Назаров, В. В. Плешаков, И. А. Степанова [и др.]. М.: Издательство Юрайт, 2023. 289 с.
5. Маков М. А. Модель службы дознания в контексте исторического опыта // Вестник Московского университета МВД России. 2013. № 7. С. 107–115.
6. Матюшин А. В., Порошин А. А., Матюшина Е. А. Нормативно-аналитический метод расчетного определения необходимой численности дознавателей по делам о пожарах. // Пожарная безопасность. 2019. № 2. С. 62–71.
7. Матюшин А. В., Козырев Е. В., Матюшина Е. А. Расчет необходимой численности дознавателей по делам о пожарах органов

ГПН МЧС России // Актуальные проблемы пожарной безопасности: материалы XXXIII Международной научно-практической конференции, посвященный году науки и технологий. М.: ФГБУ ВНИИПО МЧС России, 2021. С. 146–151.

8. Гаврилей В. М., Монахов В. Т. К вопросу обоснования численности работников пожарной профилактики // Вопросы экономики в пожарной охране: сборник статей. М.: ВНИИПО, 1973. С. 79–95.

9. Методология обоснования численности подразделений госпожнадзора сельских административных районов / Е. А. Мешалкин, В. А. Кокушкин, М. М. Шлепнев [и др.] // Организация работ по профилактике и тушению пожаров: сборник статей. М.: ВНИИПО, 1987. 71 с.

10. Карасев Е. В., Таратанов Н. А. Оценка эффективности деятельности органов дознания государственного пожарного надзора федеральной противопожарной службы. // Современные проблемы гражданской защиты. 2019. № 3 (32). С. 61–71.

11. Моделирование систем и процессов: учебник для вузов / В. Н. Волкова [и др.] / М.: Издательство Юрайт, 2023. 450 с.

12. Бурков В. Н., Ириков В. А., Кульба В. В. Модели и методы управления организационными системами. Москва: издательство Наук, 1994. 269 с.

13. Силов В. Б. Принятие стратегических решений в нечеткой обстановке. М.: ИНПРО-РЕС. 1995. 228 с.

14. Карпов С. Ю. Определение факторов и критериев оценки деятельности дознавателя МЧС России на основе экспертного метода. // Технологии техносферной безопасности. 2019. № 4 (86). С. 87–95.

15. Карпов С. Ю. Определение качества расследования пожаров на основе когнитивного моделирования // Сибирский пожарно-спасательный вестник. 2024. Т. 32. № 1. С. 97–106.

References

1. Znikin V. K. Ponyatie effektivnosti i kachestva predvaritelnogo rassledovaniya [The concept of efficiency and quality of preliminary investigation]. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta, Pravo*, 2014, issue 1, pp. 25–32.

2. Batysheva E. V. Aktualnie voprosi i problemi kachestva predvaritelnogo rassledovaniya i puti ikh resheniya [Topical issues and problems of the quality of preliminary investigation and ways to solve them]. *Yurist-Pravoved*, 2017, vol. 3 (82), pp. 55–60.

3. Babushkin M. Yu., Prikazchikov S. S. Analiz deyatelnosti organov doznaniya gosudar-

stvennogo pozhnogo nadzora federalnoi protivopozhnogo sluzhbi po osushchestvleniyu doznaniya po delam o pozharakh za 2022 god [Analysis of the activities of the bodies of inquiry of the state fire supervision of the federal fire service for the implementation of the inquiry on cases of fires in 2022]. *Pravo. Bezopasnost. Chrezvichainie situatsii*, 2023, vol. 2 (59), pp. 91–108.

4. *Rassledovanie i ekspertiza pozharov. Uchebnoe posobie. 1-e izd. Ser. 76 Visshee obrazovanie* [Investigation and examination of fires. Study guide. 1st ed. Series 76 Higher Education] / S. A. Nazarov, V. V. Pleshakov, I. A. Stepanova [et al.]. Moscow: Izdatel'stvo Yurayt, 2023, 289 p.

5. Makov M. A. *Model sluzhbi doznaniya v kontekste istoricheskogo opita* [The model of the inquiry service in the context of historical experience] // *Vestnik Moskovskogo universiteta MVD Rossii*, 2013, issue 7, pp. 107–115.

6. Matyushin A. V., Paroshin A. A., Matyushina E. A. Normativno-analiticheskii metod raschetnogo opredeleniya neobkhodimoi chislenosti doznatelei po delam o pozharakh [Normative and analytical method for calculating the required number of investigators in cases of fires]. *Pozhnaya bezopasnost*, 2019, issue 2, pp. 62–71.

7. Matyushin A. V., Kozyrev E. V., Matyushina E. A. Raschet neobkhodimoi chislenosti doznatelei po delam o pozharakh organov GPN MChS Rossii [Calculation of the required number of investigators in cases of fires of the State Emergency Committee of the Ministry of Emergency Situations of Russia]. *Aktualnie problemi pozhnogo bezopasnosti: materialy XXXIII Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii, posvyashchennii godu nauki i tekhnologii*. Moscow: FGBU VNIIPPO MCHS Rossii, 2021, pp. 146–151.

8. Gavriley V. M., Monakhov V. T. K vo-
prosu obosnovaniya chislenosti rabotnikov
pozhnogo profilaktiki [On the issue of substantiating the number of fire prevention workers]. *Vo-
prosi ekonomiki v pozhnogo okhrane: sbornik
statei*. Moscow: VNIIPPO, 1973, pp. 79–95.

9. *Metodologiya obosnovaniya chislenosti podrazdelenii gospozhnadzora selskikh administrativnykh raionov* [Methodology of substantiation of the number of units of the state supervision of rural administrative districts] / E. A. Meshalkin, V. A. Kokushkin, M. M. Shlepnev [et al.]. *Organizatsiya rabot po profilaktike i tusheniyu pozharov: sbornik statei*. Moscow: VNIIPPO, 1987, p. 71

10. Karasev E. V., Taratanov N. A. *Otsenka effektivnosti deyatelnosti organov doznaniya gosudarstvennogo pozhnogo nadzora federalnoi protivopozhnogo sluzhbi* [Evaluation of the effectiveness of the bodies of inquiry of the state fire supervision of the federal fire service].

Sovremennye problemy grazhdanskoj zashchiti, 2019, vol. 3 (32), pp. 61–71.

11. *Modelirovanie sistem i protsessov: uchebnik dlya vuzov* [Modeling of systems and processes: textbook for universities] V. N. Volkova [et al.]. Moscow: Izdatel'stvo Yurayt, 2023, 450 p.

12. Burkov V. N., Irikov V. A., Kulba V. V. *Modeli i metodi upravleniya organizatsionnimi sistemami* [Models and methods of management of organizational systems]. Moscow: izdatel'stvo Nauk, 1994, 269 p.

13. Silov V. B. *Prinyatie strategicheskikh reshenij v nechetkoi obstanovke* [Strategic decision-making in a fuzzy environment]. Moscow: INPRO-RES, 1995, 228 p.

14. Karpov S. Yu. *Opredelenie faktorov i kriteriev otsenki deyatel'nosti doznavatelya MChS Rossii na osnove ekspertnogo metoda* [Determination of factors and criteria for evaluating the activities of the investigator of the Ministry of Emergency Situations of Russia based on the expert method]. *Tekhnologii tekhnosfernoi bezopasnosti*, 2019, vol. 4 (86), pp. 87–95.

15. Karpov S. Yu. *Opredelenie kahestva rassledovaniy pogarov na osnove kognitivnogo modelirovaniy* [Determining the quality of fire investigation based on cognitive modeling]. *Sibirskiy pozharno-spasatel'nyy vestnik*, 2024, vol. 1 (32), pp. 97–106.

Карпов Сергей Юрьевич

ФГБУ ВНИИПО МЧС России,

Российская Федерация, г. Балашиха

старший научный сотрудник отдела координации и планирования НИОКР

E-mail: kafedrandagps@mail.ru

Karpov Sergey Yurievich

FSBI VNIIPPO of the Ministry of Emergency Situations of Russia,

Russian Federation, Balashikha

Senior Researcher at the Department of Coordination and Planning of R&D

E-mail: kafedrandagps@mail.ru

УДК 614.811+627.77

ОПТИМИЗАЦИЯ ПОДГОТОВКИ СПАСАТЕЛЬНЫХ СУДОВ К ПЛАВАНИЮ МЕТОДАМИ СЕТЕВОГО ПЛАНИРОВАНИЯ И УПРАВЛЕНИЯ

Д. А. КОЛЕРОВ, В. И. КУВАТОВ

Санкт-Петербургский университет государственной противопожарной службы МЧС России
им. Героя Российской Федерации генерала армии Е. Н. Зиничева,
Российская Федерация, г. Санкт-Петербург
E-mail: dima11rus@inbox.ru, kyb.valery@yandex.ru.

Процесс подготовки спасательных судов к плаванию, особенно длительному, сопряжен с решением множества задач, имеющих определенные сроки. Анализ научных исследований, в данной предметной области показал, что на текущий момент отсутствуют работы, посвященные совершенствованию подготовки спасательных судов к плаванию, с учетом особенностей МЧС России. Целью статьи является применение методов сетевого планирования и управления для оптимизации данного процесса.

Продемонстрирована возможность их применения для поддержки принятия управленческих решений при подготовке спасательных судов к плаванию. Полученные результаты позволяют сделать вывод о том, что грамотное планирование соответствующими методами позволяет не только учесть весь необходимый перечень работ, но и сформировать последовательность их реализации. Кроме того, существует возможность оценки общей продолжительности выполнения работ, что позволит построить соответствующий прогноз.

В рамках дальнейших исследований предлагается создание соответствующего программного комплекса, позволяющего с одной стороны учитывать специфику подготовки спасательных судов, а с другой автоматизировать процесс проведения расчетов и минимизировать вероятность допущения ошибки, из-за влияния человеческого фактора.

Ключевые слова: оптимизация, совершенствование, подготовка, спасательные суда, методы сетевого планирования и управления.

OPTIMIZATION OF PREPARATION OF RESCUE VESSELS FOR SAILING USING METHODS OF NETWORK PLANNING AND MANAGEMENT

D. A. KOLEROV, V. I. KYVATOV

Saint-Petersburg University of State Fire Service of EMERCOM of Russia
named after the Hero of the Russian Federation General of the Army E. N. Zinicheva,
Russian Federation, Saint-Petersburg
E-mail: dima11rus@inbox.ru, kyb.valery@yandex.ru.

The process of preparing rescue vessels for sailing, especially for a long time, is associated with solving many problems that have specific deadlines. An analysis of scientific research in this subject area showed that at the moment there are no works devoted to improving the preparation of rescue vessels for sailing, taking into account the specifics of the Russian Emergencies Ministry. The purpose of the article is to apply network planning and management methods to optimize this process.

The possibility of their application to support management decisions when preparing rescue vessels for sailing is demonstrated. The results obtained allow us to conclude that competent planning using appropriate methods allows not only to take into account the entire necessary list of works, but also to form a sequence of their implementation. In addition, it is possible to estimate the total duration of the work, which will allow us to build an appropriate forecast.

As part of further research, it is proposed to create an appropriate software package that, on the one hand, takes into account the specifics of preparing rescue vessels, and on the other, automate the process of calculations and minimize the likelihood of an error due to the influence of the human factor.

Key words: optimization, improvement, training, rescue vessels, network planning and management techniques.

Введение

Процесс подготовки судов к плаванию требует учета множества работ с точным соблюдением последовательности их исполнения. Для решения этой задачи возможно применение методов сетевого планирования и управления (СПУ), которые нашли широкое применение при планировании комплексов работ (операций, мероприятий) и управлении их выполнением в сложных организационных системах. Эти методы дают возможность определить множество допустимых последовательностей работ и сроков выполнения каждой работы в последовательности, выбрать из этого множества оптимальную последовательность и корректировать ее по мере выполнения работ, если в этом возникает необходимость. Задачи, решаемые методами СПУ, часто называют задачами согласования моментов начала и окончания отдельных работ в составе комплекса. В качестве критерия эффективности в этих задачах наиболее часто применяют время выполнения комплекса работ.

СПУ состоит из трех основных этапов: структурного планирования, календарного планирования и оперативного управления. Этап структурного планирования включает в себя: определение перечня работ и длительностей их выполнения, установление отношений упорядочивания между работами, построение сетевого графика. Сетевой график позволяет детально проанализировать все планируемые работы и внести улучшение в структуру комплекса работ. Кроме того, сетевой график является базисом для этапа календарного планирования.

Анализ научных исследований, посвященных вопросам подготовки судов к выполнению задач по предназначению показал, что большая часть из них посвящена специфике воздушных судов [1, 2]. В части работ, в том числе и зарубежных авторов рассматривается подготовка спасательных судов к действиям на море [3, 4]. Однако, остается ряд проблемных вопросов, связанных с несовершенством проведения поисково-спасательных работ (ПСР) на внутренних водоемах РФ [5, 6], которые частично могут быть решены за счёт применения соответствующих математических методов [7, 8]. Тенденции увеличения числа происшествий на транспорте, в том числе и водном [9, 10] требует модернизации как процесса проведения ПСР, так и подготовки к нему. На текущий момент отсутствуют работы, посвященные совершенствованию подготовки спасательных судов к плаванию, с учетом особенностей МЧС России. Поэтому целью статьи является при-

менение методов сетевого планирования и управления для оптимизации данного процесса.

Следует отметить, что на текущий момент существуют различные программные продукты, в которых реализованы методы СПУ, однако при их использовании невозможно в полной мере учесть специфику подготовки спасательных судов к плаванию и особенности функционирования МЧС России, поэтому в рамках настоящей статьи они не были применены.

Материалы

и методы исследования

В качестве материалов исследования были использованы данные журнала проведения поисково-спасательных работ поисково-спасательной службы Санкт-Петербурга за последние 5 лет. Для оптимизации подготовки спасательных судов к плаванию были применены методы сетевого планирования и управления.

Для наглядности их применения целесообразно рассмотреть решение конкретной задачи. Спасательное судно вернулось с проведения ПСР, имея неисправный радиолокационный комплекс и готовится к дальнейшему плаванию. Работы, которые необходимо выполнить в ходе этой подготовки, их последовательность и длительность отображены в первых четырех столбцах табл. 1.

Фактически в табл. 1 приведены только некоторые из работ, которые обычно выполняются перед выходом спасательного судна в длительное плавание. Полный их перечень сделал бы пример чрезмерно сложным и уместить его в рамках статьи было бы невозможно. Поэтому были выбраны основные этапы для рассмотрения примера.

Сетевой граф, составленный по данным, отображенный в первых четырех столбцах табл. 1, показан на рис. 1. Вершины данного графа перенумерованы таким образом, что из вершины с меньшим номером можно попасть только в вершину с большим номером. В скобках возле номера каждой работы указана ее длительность. Для удобства дальнейших вычислений переобозначим работы. Каждой работе поставим в соответствие двойку (i, j) , в которой первый символ есть номер вершины графа, отображающей начальное, а второй символ – номер вершины графа отображающей конечное для данной работы событие. Новое обозначение работ представлено в последнем столбце табл. 1.

Таблица 1. Наименование работ, их последовательность и длительность

| № работы | Наименование работы | Предшествующие работы | Длительность работ, ч | № начального и конечного событий |
|-----------------|--|--|-----------------------|----------------------------------|
| A ₁ | Оперативный ремонт радиолокационного комплекса | нет | 2 | (0, 1) |
| A ₂ | Пополнение запасов воды и огнетушащих веществ | нет | 3 | (0, 2) |
| A ₃ | Доукомплектование экипажа личным составом | нет | 4 | (0, 4) |
| A ₄ | Пополнение запасных частей, инструментов и принадлежностей | A ₁ | 5 | (1, 4) |
| A ₅ | Прием топлива и горюче-смазочных материалов | A ₂ | 3 | (2, 3) |
| A ₆ | Погрузка спасательных средств | A ₃ | 7 | (3, 4) |
| A ₇ | Регламентная проверка средств спасения | A ₃ , A ₄ , A ₆ | 2 | (4, 5) |
| A ₈ | Определение поправок навигационного комплекса | A ₅ | 4 | (3, 5) |
| A ₉ | Погрузка провианта | A ₅ | 5 | (3, 6) |
| A ₁₀ | Получение задания и сопроводительных документов | A ₇ , A ₈ | 3 | (5, 7) |
| A ₁₁ | Проверка готовности судна к выходу | A ₇ , A ₈ , A ₉ | 4 | (6, 7) |

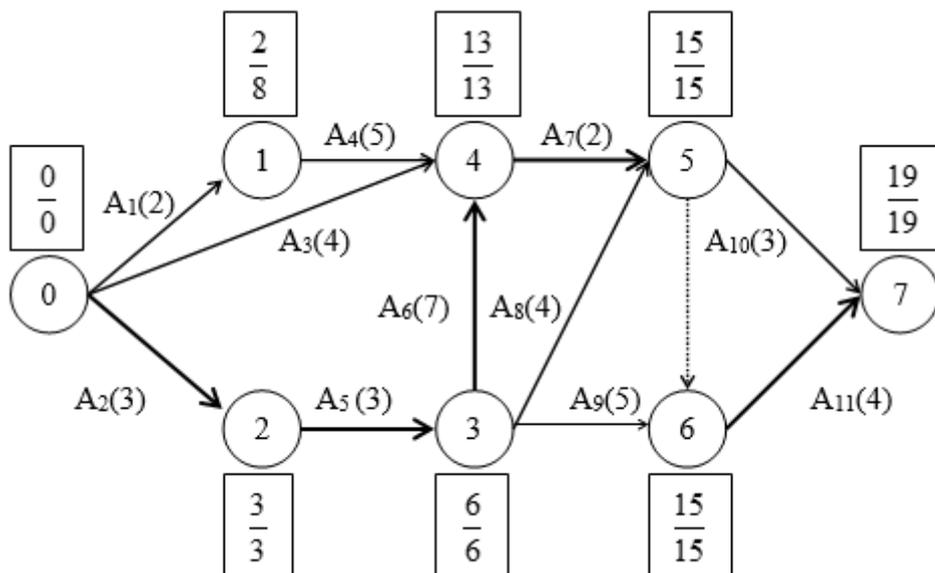


Рис. 1. Сетевой график подготовки спасательного судна к длительному плаванию

На этапе календарного планирования строится график, в котором указываются моменты начала и окончания каждой работы, ее взаимосвязи с другими работами. Для расчета сроков начала и окончания работ, все они делятся на критические и не критические. Работы называются критическими, если задержка ее начала ведет к увеличению срока окончания

всего комплекса работ. Срок начала не критической работы можно сдвигать в ту или иную сторону в определенных пределах. При этом общее время выполнения комплекса работ останется неизменным.

Назовем критическим путем непрерывную последовательность критических работ, связывающих исходное и завершающее собы-

тия сети. Процесс определения критического пути состоит из двух этапов. Первый этап называется прямым. На этом этапе вычисления начинаются с исходного события и продолжаются до тех пор, пока не будет достигнуто завершающее событие сети. При этом для каждого события вычисляется наиболее ранний срок его наступления (РСН).

На втором этапе, называемом обратным, вычисления начинаются с завершающего события сети и продолжаются до тех пор, пока не будет достигнуто исходное событие. При этом для каждого события определяется наиболее поздний срок его окончания (ПСО). Методику определения ранних сроков наступления и поздних сроков окончания каждого события рассмотрим на сетевом графике рис. 1.

Результаты исследования и их обсуждение

Вычисление ранних сроков наступления событий. Пусть $РСН_j$ – наиболее ранний возможный срок начала работ, для которых событие j является начальным. На сетевом графике эти работы обозначаются линиями, выходящими из вершины j . Работы, для которых событие j является начальным, могут быть начаты только после того, как закончились все те работы, для которых событие j является конечным. Пусть I – множество событий, начальных для тех работ, для которых событие j является конечным. На сетевом графе каждая из этих работ отобразится дугой, начинающейся в вершине $i \in I$ и заканчивающейся в вершине j графа. Обозначим t_{ij} – длительность выполнения работы (i, j) . Тогда ранний срок наступления события j определится из соотношения:

$$РСН_j = \max_{i \in I} \{РСН_i + t_{ij}\}.$$

Для тех вершин графа, которые не связаны с вершиной j непосредственно, $i \notin I$, и предшествуют ей, $i < j$, примем $t_{ij} = -\infty$. Тогда формула для вычисления раннего срока наступления события i может быть записана в виде:

$$РСН_j = \max_{i < j} \{РСН_i + t_{ij}\}. \quad (1)$$

Примем $РСН_0 = 0$. Это целесообразно делать всегда, если у нас нет причин специально задерживать выполнение работ. Тогда, воспользовавшись рекуррентной формулой (1) мы можем последовательно вычислить ранние сроки начала всех событий сети.

Выполнив вычисления по формуле (1) для сети, изображенной на рис. 1, получим:

$$РСН_1 = РСН_0 + t_{01} = 0 + 2 = 2;$$

$$РСН_2 = РСН_0 + t_{02} = 0 + 3 = 3;$$

$$РСН_3 = РСН_0 + t_{23} = 3 + 3 = 6;$$

$$РСН_4 = \max\{РСН_0 + t_{04}, РСН_1 + t_{14}, РСН_3 + t_{34}\} = РСН_3 + t_{34} = 13;$$

$$РСН_5 = \max\{РСН_3 + t_{35}, РСН_4 + t_{45}\} = РСН_3 + t_{34} = 15;$$

$$РСН_6 = \max\{РСН_3 + t_{36}, РСН_5 + 0\} = РСН_5 + 0 = 15;$$

$$РСН_7 = \max\{РСН_5 + t_{57}, РСН_6 + t_{67}\} = РСН_6 + t_{67} = 19.$$

Вычисление поздних сроков окончания событий. Пусть $ПСО_i$ – наиболее поздний допустимый срок окончания работ, для которых событие i является конечным. Наиболее поздний допустимый срок – это такой срок, при котором еще не происходит задержки выполнения всего комплекса работ. Пусть J – множество конечных событий для тех работ, для которых событие i является начальным. И пусть поздние сроки окончания для событий $j \in J$ известны. По определению также для $j \in J$ известны длительности работ t_{ij} . Для $j \notin J$ примем $t_{ij} = -\infty$.

В том случае, если мы не хотим умышленно затягивать сроки окончания комплекса работ, то мы должны принять $ПСО_n = РСН_n$, где n – номер завершающего события. Поздние сроки окончания всех других работ рассчитываются по формуле:

$$ПСО_i = \min_{i < j} \{ПСО_j - t_{ij}\}. \quad (2)$$

Выполнив вычисления по формуле (2) для сети, изображенной на рис. 1, получим:

$$ПСО_7 = 19;$$

$$ПСО_6 = ПСО_7 - t_{67} = 15;$$

$$ПСО_5 = \min\{ПСО_7 - t_{57}, ПСО_6 - 0\} = 15;$$

$$ПСО_4 = ПСО_5 - t_{45} = 13;$$

$$ПСО_3 = \min\{ПСО_6 - t_{36}, ПСО_5 - t_{35}, ПСО_4 - t_{34}\} = ПСО_4 - t_{34} = 6;$$

$$ПСО_2 = ПСО_3 - t_{23} = 3;$$

$$PCO_1 = PCO_4 - t_{14} = 8;$$

$$PCO_0 = \min\{PCO_4 - t_{04}, PCO_2 - t_{02}, PCO_1 - t_{01}\} = PCO_2 - t_{02} = 0.$$

Для большей наглядности на рис. 1 величины PCN_i и PCO_i проставлены возле каждой вершины сети дробью в квадратах. В числителе дроби при i -й вершине указан PCN_i , а в знаменателе – PCO_i .

Критическими по определению являются те работы, для выполнения которых нет излишков времени, и любая задержка в их выполнении ведет к задержке выполнения всего комплекса работ. Следовательно, для того, чтобы работа (i, j) принадлежала критическому пути, необходимо выполнение двух условий: $PCN_i = PCO_i$ и $PCN_j = PCO_j$. Первое из этих равенств означает, что как только работа может быть начата, она и должна быть начата. Второе равенство означает, что как только работа может быть закончена, она и должна быть закончена.

На рис. 1 двум отмеченным условиям отвечает в частности линия $(3, 5)$, и параллельная ей последовательность из двух линий $(3, 4)$ и $(4, 5)$. Но критический путь должен быть один. Следовательно, условий $PCN_i = PCO_i$ и $PCN_j = PCO_j$ недостаточно. Для того, чтобы работа принадлежала критическому пути, необходимо выполнение еще одного – третьего условия:

$$PCN_j - PCN_i = PCO_j - PCO_i = t_{ij} \quad (3)$$

В соответствии с тремя изложенными условиями, для сети, изображенной на рис. 1, критическим является путь, проходящий через

вершины 0, 2, 3, 4, 5, 6, 7. Этот путь отмечен жирными линиями.

При построении календарного плана после определения критического пути приступают к вычислению резервов времени для некритических работ. Сдвигая время начала и окончания некритических работ в ту или иную сторону можно более равномерно распределить наличные ресурсы, в том числе людские или улучшить план выполнения работ по какому-либо другому критерию.

В сетевом планировании и управлении различают два вида резервов времени: полный резерв (ПР) и свободный резерв (СР). Для работы (i, j) полный резерв представляет собой разность между максимальным отрезком времени, в течение которого работа может быть выполнена и длительностью выполнения работы:

$$ПР_{ij} = PCO_j - PCN_i - t_{ij} \quad (4)$$

Из формулы (3) следует, что полный резерв времени для критических мероприятий равен нулю. Свободный резерв времени для работы (i, j) равен превышению допустимого отрезка времени $PCN_j - PCN_i$ над длительностью работы t_{ij} :

$$СР_{ij} = PCN_j - PCN_i - t_{ij} \quad (5)$$

Иначе говоря, свободный резерв времени работы (i, j) определяется в предположении, что все предшествующие работы начинались в ранние сроки. Рассчитаем резервы времени для нашей задачи. Результаты расчетов сведены в табл. 2.

Таблица 2. Расчёты резервов времени

| Работа | t_{ij} | PCN_i | PCO_j | $ПР_{ij}$ | $СР_{ij}$ |
|--------|----------|---------|---------|-----------|-----------|
| (0, 1) | 2 | 0 | 8 | 6 | 0 |
| (0, 2) | 3 | 0 | 3 | 0 | 0 |
| (0, 4) | 3 | 0 | 6 | 3 | 3 |
| (1, 4) | 5 | 2 | 15 | 8 | 6 |
| (2, 3) | 3 | 3 | 6 | 0 | 0 |
| (3, 4) | 7 | 6 | 13 | 0 | 0 |
| (3, 5) | 4 | 6 | 15 | 5 | 5 |
| (3, 6) | 5 | 6 | 15 | 4 | 4 |
| (4, 5) | 2 | 13 | 15 | 0 | 0 |
| (5, 6) | 0 | 15 | 15 | 0 | 0 |
| (5, 7) | 3 | 15 | 19 | 1 | 1 |
| (6, 7) | 4 | 15 | 19 | 0 | 0 |

После определения критического пути и резервов времени для некритических работ можно перейти к построению календарного плана. Календарный план строится на основании таблицы полных и свободных резервов времени. Методику его построения проиллюстрируем на нашем примере. В верхней части календарного плана строится последовательность выполнения критических работ. На рис. 2 последовательность критических работ отображена жирной линией. Кружки с цифрами над этой линией отображают начало и окончание

критических работ. Так критическая работа (0, 2), изображенная на рис. 1, начинается событием «0», а заканчивается событием «2». Время начала этой работы равно 0, а время окончания – 3 единицы времени. Поэтому на графике начальное для этой работы событие – событие «0» по оси времени имеет координату равную нулю, а завершающее событие – событие «2» – координату равную трем. Аналогично на временной оси расположены и другие критические работы.

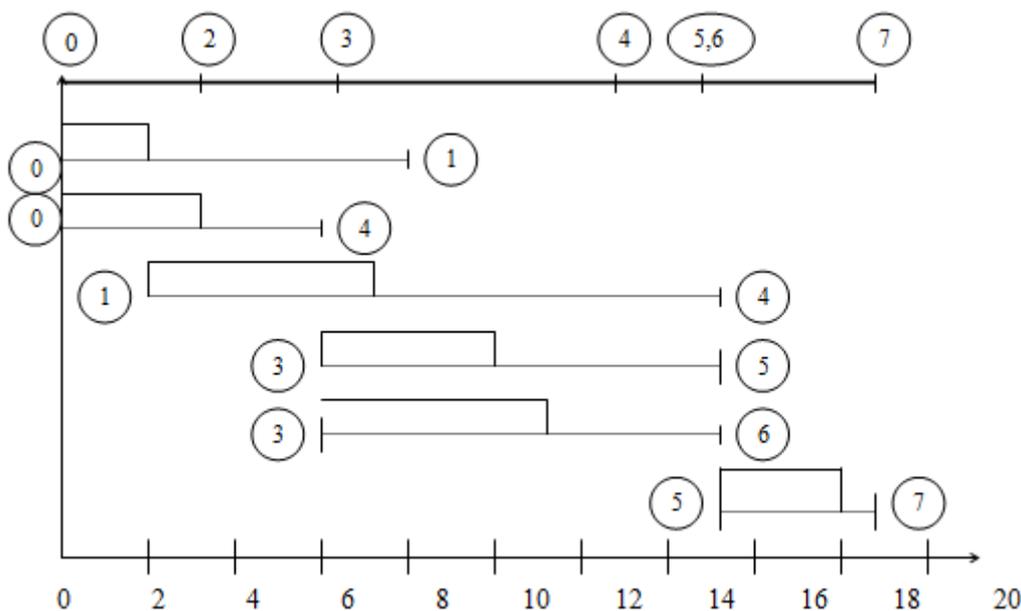


Рис. 2. Календарный план подготовки спасательного судна к плаванию

Ниже сплошной жирной линии на график пунктиром нанесены отрезки времени, в пределах которых могут выполняться некритические работы. Эти отрезки показывают, что календарные сроки соответствующих некритических работ можно выбирать в указанных пределах при условии сохранения отношений следования. При этом:

1. Если свободный резерв времени равен полному резерву, то календарные сроки некритической работы можно выбирать в любой точке между ее ранним началом и поздним окончанием.

2. Если свободный резерв времени меньше полного, то срок начала некритической работы можно сдвинуть по отношению к ее раннему сроку начала не более, чем на величину свободного резерва, не влияя при этом на выбор календарных сроков непосредственно следующих работ.

В рассматриваемом примере правило 2 применимо к работам (0, 1) и (1, 4). Действительно, из рис. 2 видно, что возможное время выполнения работы (0, 1) и работы (1, 4) перекрывается на отрезке времени от $t = 2$ до $t = 8$. Поэтому, если время выполнения работы (0, 1) выбирается в промежутке от 0 до 2, то это не влияет на сроки выполнения работы (1, 4). Если время выполнения работы (0, 1) выбирается в промежутке от $t = 2$ до $t = 8$, то время выполнения работы (1, 4), должно выбираться не ранее, чем закончится работа (0,1). Время начала и окончания всех остальных некритических работ должно выбираться по правилу 1.

Первый вариант календарного плана обычно строят таким образом, чтобы все работы начинались в ранние сроки их начала. Именно такой план и построен на рис. 2. Затем этот план корректируется. При корректуре календарного плана необходимо учитывать степень совместимости работ. Так параллельное

выполнение некоторых работ, связанных с использованием одного и того же оборудования или специалистов одного профиля может оказаться нежелательным. Сдвигая сроки начала и окончания не критических работ в том или ином направлении в пределах соответствующих им полных резервов времени, можно добиться максимального снижения нежелательных параллелизмов. По существу это означает максимально возможное выравнивание потребности в людях и оборудовании на протяжении выполнения всего комплекса работ.

В некоторых случаях могут устанавливаться ограничения на количество оборудования или людей, используемых в ходе реализации комплекса работ. Если этого не удается достигнуть путем изменения сроков выполнения не критических работ, приходится увеличивать продолжительность некоторых критических работ.

Следует отметить, что на текущий момент не существует методов, обеспечивающих оптимальное решение общей задачи равномерного использования ресурсов – задачи минимизации максимальной потребности в ресурсах на любой момент времени выполнения комплекса работ. Для этих целей, как правило, используют эвристические алгоритмы, позволяющие найти пусть не оптимальное, но достаточно хорошее решение.

Список литературы

6. Додонов К. Н., Чинючин Ю. М. Разработка метода оптимизации процесса подготовки воздушного судна к полёту // Научный вестник Московского государственного технического университета гражданской авиации. 2013. № 187. С. 118–122.

7. Лазукин В. В., Бессавин С. Н. Методика оптимизации процесса подготовки воздушных судов авиационного воинского формирования оперативно-тактической авиации при маневренном базировании к повторному и последующему вылету // Вестник Академии военных наук. 2021. № 3 (76). С. 107–115.

8. Усов А. В. Морские спасатели Дальневосточного пароходства: аварийно-спасательная подготовка и учения (1957–1993 гг.) // Гуманитарные исследования в Восточной Сибири и на Дальнем Востоке. 2018. № 1 (43). С. 89–96.

9. Radojevic S., Kresojevic M. Rescuing Migrants from the Sea: Improving Training for Search and Rescue Operations. *TransNav, International Journal of Maritime Navigation and Mari-*

Выводы

Применение методов сетевого планирования и управления для оптимизации подготовки спасательных судов к плаванию является перспективным направлением, поскольку позволяет не только учесть весь необходимый перечень работ, но и сформировать последовательность их реализации. Применение таких методов целесообразно в случае, когда для реализации последующих этапов необходимо завершение предыдущих. Рассмотренный в статье пример, позволяет оптимизировать процесс подготовки спасательных судов, с учётом специфики МЧС России. Его практическое применение позволит рассчитать временные интервалы, затрачиваемые на обслуживание техники и на их основе корректировать количество сил и средств, заступающих на дежурство.

Результаты исследования возможно применить на практике при оптимизации подготовки пожарной техники к тушению пожаров и проведению аварийно-спасательных работ, а также при проектировании систем поддержки принятия управленческих решений в ведомственных организационных системах.

Дальнейшие исследования в данной области целесообразно продолжить в направлении создания соответствующего программного комплекса, позволяющего учитывать специфику подготовки спасательных судов и автоматизировать процесс проведения расчётов.

time *Transport Safety*, 2020, vol. 14, issue 1, pp. 129–133.

10. Колеров, Д. А., Данчук Ю. Л., Мамонтова И. О. Анализ проблем реагирования поисково-спасательных служб в акватории Санкт-Петербурга и подходы к их решению // Природные и техногенные риски (физико-математические и прикладные аспекты). 2023. № 2 (45). С. 74–80.

11. Колеров Д. А., Матвеев А. В. Системный анализ проблем управления поисково-спасательными работами в акватории Санкт-Петербурга // Национальная безопасность и стратегическое планирование. 2023. № 4 (44). С. 78–89. DOI 10.37468/2307-1400-2024-2023-4-78-89.

12. Матвеев А. В. Методы моделирования и прогнозирования. СПб: Санкт-Петербургский университет Государственной противопожарной службы Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий имени Героя Российской Федерации генерала армии Е. Н. Зиничева, 2022. 230 с. ISBN 978-5-907116-73-3.

13. Бутырский Е. Ю., Матвеев А. В. Математическое моделирование систем и процессов. М.: Информационный издательский учебно-научный центр «Стратегия будущего», 2022. 733 с. ISBN 978-5-4268-0064-9. DOI 10.37468/book_011222.

14. Колеров Д. А., Потапов А. И., Уткин О. В. Комплексный анализ причин возникновения чрезвычайных ситуаций на транспорте // Природные и техногенные риски (физико-математические и прикладные аспекты). 2022. № 3. С. 38–46.

15. Guo D., Yan Y., Xiong F. Statistics and analysis of traffic accidents on the Yangtze River and accident prediction. International Conference on Oceanography and Polar Engineering ISOPE. 2018. P. ISOPE-I-18-213.

References

1. Dodonov K. N., Chinyuchin Yu. M. Razrabotka metoda optimizacii processa podgotovki vozdušnogo sudna k polyotu [Development of a method for optimizing the process of preparing an aircraft for flight]. *Nauchnyy vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta grazhdanskoj aviatsii*, 2013, issue 187, pp. 118–122.

2. Lazukin V. V., Bessavin S. N. Metodika optimizacii processa podgotovki vozdušnyx sudov aviacionnogo voinskogo formirovaniya operativno-takticheskoy aviacii pri manevrennom bazirovanii k povtornomu i posleduyushhemu vy`letu [Methodology for optimizing the process of preparing aircraft of an aviation military formation of operational-tactical aviation during maneuverable basing for a repeated and subsequent flight]. *Vestnik Akademii voyennykh nauk*, 2021, vol. 3 (76), pp. 107–115.

3. Usov A. V. Morskie spasateli Dal'nevostochnogo paroxodstva: avarijno-spasatel'naya podgotovka i ucheniya (1957-1993 gg.) [Marine rescuers of the Far Eastern Shipping Company: emergency rescue training and exercises (1957-1993)]. *Gumanitarnyye issledovaniya v Vostochnoy Sibiri i na Dal'nem Vostoke*, 2018, vol. 1 (43), pp. 89–96.

4. Radojevic S., Kresojevic M. Rescuing Migrants from the Sea: Improving Training for Search and Rescue Operations. *TransNav*, Inter-

national Journal of Maritime Navigation and Maritime Transport Safety, 2020, vol. 14, issue 1, pp. 129–133.

5. Kolerov, D. A., Danchuk Yu. L., Mamontova I. O. Analiz problem reagirovaniya poiskovo-spasatel'ny`x sluzhb v akvatorii Sankt-Peterburga i podxody` k ix resheniyu [Analysis of the problems of response of search and rescue services in the waters of St. Petersburg and approaches to their solution]. *Prirodnyye i tekhnogennyye riski (fiziko-matematicheskiye i prikladnyye aspekty)*, 2023, vol. 2 (45), pp. 74–80.

6. Kolerov D. A., Matveev A. V. Sistemny`j analiz problem upravleniya poiskovo-spasatel'ny`mi rabotami v akvatorii Sankt-Peterburga [Systems analysis of the problems of managing search and rescue operations in the waters of St. Petersburg]. *Natsional'naya bezopasnost' i strategicheskoye planirovaniye*, 2023, vol. 4 (44), pp. 78–89. DOI 10.37468/2307-1400-2024-2023-4-78-89.

7. Matveev A. V. *Metody modelirovaniya i prognozirovaniya* [Methods of modeling and forecasting]. SPb.: Sankt-Peterburgskiy universitet Gosudarstvennoy protivopozharnoy sluzhby Ministerstva Rossiyskoy Federatsii po delam grazhdanskoj oborony, chrezvychaynym situatsiyam i likvidatsii posledstviy stikhiynykh bedstviy imeni Geroya Rossiyskoy Federatsii generala armii Ye. N. Zinicheva, 2022. 230 p. ISBN 978-5-907116-73-3.

8. Butyrsky E. Yu., Matveev A. V., *Matematicheskoye modelirovaniye sistem i protsessov* [Mathematical modeling of systems and processes]. Moscow: Informatsionnyy izdatel'skiy uchebno-nauchnyy tsentr «Strategiya budushchego», 2022. 733 p. ISBN 978-5-4268-0064-9. DOI 10.37468/book_011222.

9. Kolerov D. A., Potapov A. I., Utkin O. V. Kompleksnyj analiz prichin vzniknoveniya chrezvychajnykh situatsij na transporte [Comprehensive analysis of the causes of emergency situations in transport]. *Prirodnyye i tekhnogennyye riski (fiziko-matematicheskiye i prikladnyye aspekty)*, 2022, issue 3, pp. 38–46.

10. Guo D., Yan Y., Xiong F. Statistics and analysis of traffic accidents on the Yangtze River and accident prediction. International Conference on Oceanography and Polar Engineering ISOPE. 2018. P. ISOPE-I-18-213.

Колеров Дмитрий Алексеевич

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

E-mail: dima11rus@inbox.ru

KoleroV Dmitry Alekseevich

Saint-Petersburg University of State Fire Service of EMERCOM of Russia
named after the Hero of the Russian Federation General of the Army E. N. Zinicheva,
Russian Federation, Saint-Petersburg
Lecturer
E-mail: dima11rus@inbox.ru

Kуватов Валерий Ильич

Санкт-Петербургский университет государственной противопожарной службы МЧС России
им. Героя Российской Федерации генерала армии Е. Н. Зиничева,
Российская Федерация, г. Санкт-Петербург
доктор технических наук, профессор, заслуженный работник Высшей школы РФ
E-mail: kyb.valery@yandex.ru

Kuvatov Valery Ilyich

Saint-Petersburg University of State Fire Service of EMERCOM of Russia
named after the Hero of the Russian Federation General of the Army E. N. Zinicheva,
Russian Federation, Saint-Petersburg
Doctor of Technical Sciences, Professor, Honored Worker of the Higher School of the Russian Federation
E-mail: kyb.valery@yandex.ru

ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ

К рассмотрению принимаются рукописи в электронном формате документа MicrosoftWord (*.doc, *.docx). Файлы высылаются по адресу: journal@edufire37.ru

Статьи должны полностью соответствовать специализациям 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 тексте после первого упоминания о них. Количество графического материала должно быть минимальным (не более 5 рисунков). Буквы и цифры на рисунке должны быть разборчивы, оси на графиках подписаны. Рисунки и фотографии следует представлять в черно-белом варианте; они должны иметь хороший контраст и разрешение. Рисунки в виде ксерокопий из книг и журналов, а также плохо отсканированные не принимаются. Рисунки обяза-

тельно должны быть сгруппированы (т.е. не должны «разваливаться» при перемещении и форматировании);

- подрисуночные подписи размещаются по центру;
- названия рисунков даются под ними после слова «Рис.» с порядковым номером. Слово «Рис.» с порядковым номером пишется полужирно, название рисунка – с прописной буквы, обычным шрифтом: **Рис. 1.** Отдельные элементы дымопроницаемой мембраны в сложенном состоянии;
- если рисунок в тексте один, номер не ставится: **Рисунок.** Статистика пожаров, произошедших на различных объектах;
- подрисуночные подписи не входят в состав рисунка, а располагаются отдельным текстом под иллюстрацией. Если на рисунке вводятся новые (ранее не встречавшиеся в тексте) обозначения, они должны быть расшифрованы в подрисуночной подписи; также здесь поясняются элементы, обозначенные на рисунке цифрами. Рекомендуемая ширина рисунков не более 7,5 см;
- ссылки в тексте на таблицы пишутся: «табл.», «табл. 1»;
- слово «Таблица» с порядковым номером и названием размещается по центру. Слово «Таблица» набирается курсивом, название таблицы выделяется полужирно: *Таблица 1. Экспериментальные данные по допустимым срокам непрерывной продолжительности работы в изолирующих термоагрессивостойких костюмах для пожарных;*
- единственная в статье таблица не нумеруется: *Таблица. Анализ оборудования для подачи воздушно-механической пены;*
- по возможности следует избегать использования рисунков и таблиц, размер которых требует альбомной ориентации страницы;
- поворот рисунков и таблиц в вертикальную ориентацию недопустим;
- текст статьи не должен заканчиваться таблицей, рисунком или формулой.

Правила оформления списка литературы

После текста статьи приводится список литературы, оформленный в строгом соответствии с ГОСТ Р 7.0.5-2008.

Источники указываются в порядке цитирования в тексте. На все источники из списка литературы должны быть ссылки в тексте.

В список литературы включаются только научные и приравненные к ним публикации (статьи, монографии, учебные издания, патенты на изобретения, авторские свидетельства). Ссылки на нормативные документы (законы, постановления, стандарты) должны оформляться как подстрочные сноски.

В статье должны быть представлены два варианта списка использованной литературы:

- список на русском языке. Для изданий на русском языке обязательна транслитерация оригинального названия и перевод названия на английский язык (в квадратных скобках); тире, а также символ // в описании на английском языке не используются;
- список в романском алфавите (References). В References при переводе статьи на английский названия изданий и журналов не переводятся, используется транслитерация.

Для изданий на английском языке транслитерация не производится.

Если есть, обязательно указывается DOI.

Материалы предоставляются по адресу:
Россия, 153040, Ивановская область, г. Иваново, проспект Строителей, д. 33
Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,
Редакция журнала «Современные проблемы гражданской защиты»,
тел.: (4932) 93-08-00 доб. 15-60; e-mail: journal@edufire37.ru

СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ГРАЖДАНСКОЙ ЗАЩИТЫ
№ 3 (52), 2024

16+

Дата выхода в свет 27.09.2024 г. Бумага офсетная. Печать цифровая.
Формат 60 × 90 1/8. Усл. печ. л. 18,8. Тираж 100 экз.
Заказ № 665. 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